محرك الاحتراق الداخلي

(أنواعه ومكوناته ونظريات تشغيله)

الأستاذ الدكتور
السعيد رمضان العشرى
جامعة الإسكندرية

2007

مكتبة بستان المعرفة
لطباعة ونشر وتوزيع الكتب
☎: ٠٤٥/٢٢٢٤٢٢٨& ٠١٢/ ١١٥١٢٣٧

العنوان	محرك الاحتراق الداخلى(أنواعه ومكوناته ونظريات تشغيله)
اسم المؤلف	أ.د. السعيد رمضان العشرى
رقم الإيداع	٢٣٤٣٠ /٢٠٠٦
الترقيم الدولى	I.S.B.N. 977 - 393- 077 - 7
الناشر	مكتبة بستان المعرفة كفر الدوار ــ الحدائق ــ ٦٧ ش الحدائق بجوار نقابة التطبيقيين ☎: ٠٤٥/٢٢٢٤٢٢٨ الإسكندرية ٠١٢١١٥١٢٣٧ Email: bostan_ elma3rafa @ yahoo.com

إهداء

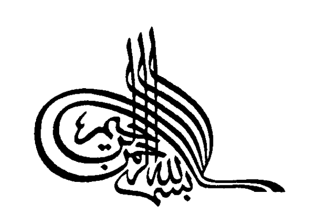
إلى والدى ووالدتى رحمهما الله

واسكنهما فسيح جناته

إلى زوجتى الفاضلة

إلى أبنائى..د. خالد .. & د .طارق ....&.سامح.

إلى كل من عاونني على اخراج هذا العمل



سبحان الذى سخر لنا هذا،

وما كنا له مقرنين وإنا إلى ربنا لمنقلبون

صدق الله العظيم

مقدمة

لإيجاد وطن يعتمد على موارده الذاتية وعلى الأخص الموارد البشرية المسلحة بالعلم والأيمان من أجل دفع عجلة التنمية. لابد من تأهيل كوادر وطنية مدربه قادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتاحة فى سوق العمل المحلى والأقليمى. ومن خلال اشتراكنا وتنفيذنا لبرنامج مشروع تطوير التعليم . لوحظ ان المكتبة العربية تفتقر لكثير من الكتب الفنية التى تعتبر كمراجع ومصادر للمعرفة والبحث، وإيماناً منا بأهمية توفير مراجع عن محرك الاحتراق الداخلى باللغة العربية، عملنا على إعداد هذه السلسلة والتى تغطى كافة نواحى ومجالات محركات الاحتراق الداخلي لتكون عوناً لأعزائنا طلبة الكليات والمعاهد الفنية وجميع المشتغلين فى هذا المجال.

يشتمل هذا السلسلة على أساسيات محركات الاحتراق الداخلى وأنواعها وأجزائها وتشمل وقود المحركات ونظريات احتراقه وكذلك الأجهزة المساعدة لمحرك وشرح واف لأداء واختبار المحركات، وتجنبنا استعمال الأرقام الهندية (١، ٢، ٣، ٤...) والتى إعتدنا استعمالها واستبدلناها بأرقامنا العربية Arabic Numbers (1,2,3,4...) التى تخلينا عنها وتركناها للإنجليزية تستمتع بها. وادراكا لأهمية معرفة المصطلحات العلمية أضفنا فى نهاية كل جزء ملحق يشتمل على مرجع مصغراً عن مصطلحات الواردة فيه.

وتتناول السلسلة خمس اجزاء :الجزء الأول يتناول انواع محركات الأحتراق الداخلى ومكوناته ونظريات تشغيله ويتناول الجزء الثانى وقود المحركات ونظريات احتراقه ويتناول الجزء الثالث الأجهزة المساعدة للمحرك. أما الجزء الرابع فيتناول عمليات صيانة وإصلاح المحرك، والأجزاء المساعدة.

ولا يفوتنى هنا أن أتقدم بعظيم الشكر والتقدير إلى اساتذتى الأفاضل الذين تعلمت على أيديهم وكان لمؤلفاتهم ونصائحهم ولما قدموه من عون أكبر الأثر فى سبيل إنجاز هذه السلسلة. وكلى أمل فى أن أكون قد وفقت فى جمع وترتيب المادة العلمية حتى يصبح بمثابة إضافة مفيدة للمكتبة العلمية العربية. ونأمل فى النهاية أن يحقق هذا الكتاب هدفه ويلقى قبول وتقدير أساتذتى والقارئ الكريم.

ومع بذل من جهود كبيرة فى هذا الكتاب لإخراجه بأفضل صورة إلا أن أى عمل بشرى لا يخلو من النقص والخطأ. وإذ أتمنى أن أكون قد وفقت بتقديمه على هذه الصورة فأننى أرحب بأى اقتراحات من قبل القارئ الكريم حتى يمكن الأخذ بها فى الإصدارات المستقبلية إن شاء الله.

وفى الختام نتقدم بخالص الشكر لكل من قدم لنا الجهد والمشورة لإخراج هذا العمل بهذه الصورة وأخص بالذكر الآنسة/ عبير سعد الحبروك لجهودها الوافى فى الكتابة والتجهيزات الفنية وأملنا كبير فى وجه الله تعالى أن يكون هذا العمل نعم العون للدارسين والعاملين فى هذا المجال، ونسأل الله سبحانه وتعالى التوفيق والسداد.

والله ولى التوفيق

أ.د/ السعيد رمضان العشرى

يناير ٢٠٠٧

توطئة

إني رأيت أنه لا يكتب أحد كتابا في يومه إلا قال في غده:

لو غير هذا لكان أحسن

ولو زيد هذا لكان يستحسن

ولو قدم هذا لكان أفضل

ولو ترك هذا لكان أجمل

وهذا من أعظم العبر

وهو دليل على استيلاء النقص على جملة البشر.

العماد الأصفهاني

الباب الأول

مقدمة فى المحرك

INTRODUCTION TO ENGINE

الباب الأول

مقدمة فى المحـــرك

INTRODUCTION TO ENGINE

1-1- نبذة تاريخية *Historical Review*

بعد أن تقدمت صناعة الآلات البخارية حيث أمكن تحويل الطاقة الحرارية للفحم إلى طاقة ميكانيكية، استرعى الانتباه كبر الطاقة الحرارية المفقودة، بالإضافة إلى الحيز الكبير الذى تشغله الآلة البخارية وملحقاتها، لذا فكر البعض فى إمكانية حرق الفحم مباشرة داخل إسطوانة المحرك الترددى الحركة، وبذلك لا يصبح هناك أى داعى لتوليد البخار، ولكن الوقت الطويل اللازم لاشتعال الفحم بسبب صعوبة احتراقه أدت بفكرة آلة الاحتراق الداخلى إلى الانزواء حتى ظهر الوقود السائل والوقود الغازى وأمكن استخدامهما فى الآلة الجديدة.

فى عام 1680 تمكن العالم الفيزيائى الهولندى كريستيان هيكنس *(Huygens)* (1629- 1695) من بناء أول محرك يستخدم البارود، وقد أعجب ملك فرنسا لويس الثالث عشر بهذا المحرك وطلب استخدامه فى ضخ الماء الذى يخرج من نافورات حدائقه. وتوقف المحرك عند هذا الحد من الاستخدام بالرغم من محاولات لم تتم لهيكنس *(Huygens)* ومساعده الفرنسى بابن *(Papin)* .

وفى عام 1680 اخترع الفرنسى بابن *(Papin)* أول محرك يستخدم البنزين كوقود، وبذلك يمكن القول أن عصر آلات الاحتراق الداخلى بدأ عام 1688 فى عهد لويس الرابع عشر الملقب بملك الشمس، وفى نفس الوقت عصر الثورة الانجليزية الكبرى.

وفى عام 1705 اقترح الانجليزى توماس بيوكومين اول محرك يستخدم البخار ويعمل تحت الضغط الجوى لضخ الماء، وقد سجل هذا الاقتراح على انه أول محرك ناجح.

وفى عام 1768 صنع جيمس وات الآلة البخارية، وفى عام 1860 اخترع الفرنسى لينوار أول محرك احتراق داخلى يستخدم غاز الفحم، وفى عام 1768 صنع جيمس وات الآلة البخارية.

وفى عام 1876 عرض الألمانيان اوتو *Otto* ولانجن *Langen* أول محرك رباعى الأشواط يستخدم الغاز كوقود، وكان هذا المحرك يستخدم كمية قليلة من الوقود وأظهر قدرة كبيرة جعلت هذا المحرك عمليا لاستخدامه تجاريا، وكان هذا هو أول محرك ذو احتراق داخلى يعمل عملا جيدا وهو الذى أطلق عليه اسم محرك أوتو *Otto*.

وفى عام 1881 اخترع سير دوفالد كليرك المحرك ثنائى الأشواط بعد دراسته للأفكار المفيدة فى اختراع وتحسينات اوتو.

وتأرجح الوقود المستخدم، فتارة هو الهيدروجين أو غاز الإضاءة أو الكحول وأخيرا استقر الرأى على استخدام المنتجات البترولية كالكيروسين والبنزين.

فى عام 1882 تمكن فيلهلم مايباخ *F. Maybach* من تصميم وبناء أول محرك يستخدم وقود الكيروسين ثم عدله إلى استخدام البنزين ثم استخدمه فى سيارة صغيرة.

عام 1886 بدأ سورر *Saurer* فى سويسرا فى تحسين هذا المحرك وفى نفس العام تم بناء محرك غازى هناك.

وفى عام 1892 ظهر محرك ديزل نسب إلى المهندس الألمانى (رودلف ديزل Diesel) الذى ولد فى باريس والذى أعتمد على ضغط الهواء فقط إلى أن تصل درجة

حرارته إلى حد معين يكفى لاشتعال الوقود الذى يتم ضخه فى نهاية شوط الانضغاط، وقد حاول ديزل فى تجربته الأولى ضخ غبار الفحم داخل إسطوانة تحتوى على هواء تحت ضغط عالى وقد حققت تجربته هذه النجاح ولكنها كادت تودى بحياته نتيجة للانفجار، وبعد هذه التجربة حول تفكيره الى استخدام الوقود السائل وتحقق له النجاح بعد أربع سنوات من الجهد الشاق.

وفى عام 1905 تم صنع أول محرك ثنائى الأشواط تحت إشراف ديزل واستخدم فى البحرية وأجريت عليه الكثير من التحسينات واستخدمت البوابات *Ports* وطريقة الكنس الطولى *Inflows Scavenging* وأدت التجارب عليه إلى زيادة قدرة المحرك.

وفى سبتمبر 1913 فقد ديزل فى ظروف غامضة أثناء سفره على باخرة متجها إلى انجلترا من ألمانيا وفى عام 1935 بدأ تعميم طريقة الحقن المباشر للوقود والإستغناء نهائيا عن الضاغط الهوائى وتبسيط المحرك.

وبذلك يمكن القول بأن عام 1930 كان نهاية مرحلة فى صناعة محركات الديزل، إذ أن معظم الصعوبات التى كانت تعترض بناء المحرك المناسب وصنعه بأقل التكاليف الممكنة قد زالت تقريبا. وظل المحرك الرباعى الأشواط فى المقدمة، ولكن أول محرك ديزل تم استخدامه فى الجرارات الزراعية لم يظهر إلا فى عام 1931.

وفى عام 1931 له أهمية كبيرة فى علم الاحتراق الداخلى إذ تمكن بوش *Bochi* من صنع أول محرك رباعى الأشواط بعمل بطريقة الشحن الزائد *Supercharging* بواسطة توربين غازى يدير ضاغط هوائى يغذى المحرك بالهواء اللازم لاحتراق الوقود مما رفع قدرة المحرك الى 150٪.

وفى عام 1954 صمم (فيلكس فانكل) محركات بمكابس دواره وسمى بمحرك فانكل Wankle engine.

1-2- مقدمة فى المحركات:

تنقسم المحركات من حيث مكان الاحتراق إلى:

1- محركات الاحتراق الخارجى External combustion Engines:

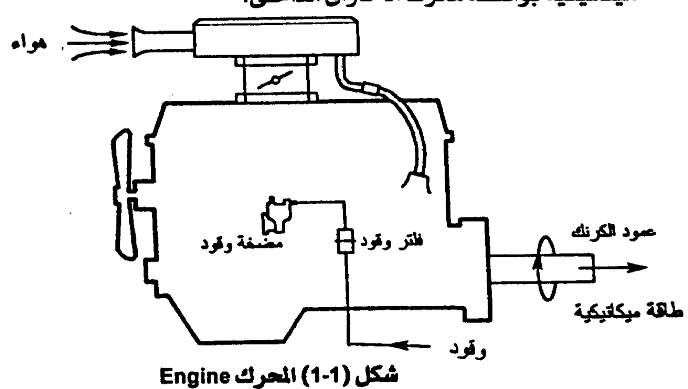
وهى التى يتم الاحتراق فيها خارج اسطوانة المحرك حيث يتولد بخار الماء عن طريق احتراق الوقود فى فرن ثم يقوم البخار بدوره بإنجاز شغل ميكانيكى فى اسطوانة المحرك.

2- محركات الاحتراق الداخلى Internal Combustion Engines

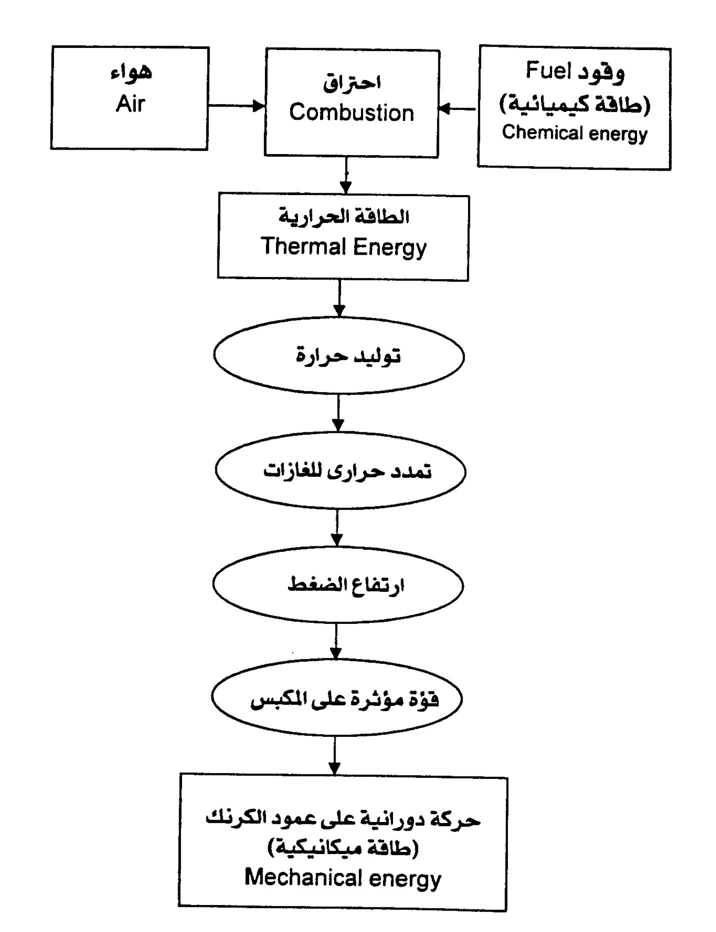
وهى التى يتم الاحتراق فيها داخل اسطوانة المحرك حيث يكتسب الشغل الميكانيكى فى هذه المحركات مباشرة نتيجة احتراق الوقود فى الاسطوانة.

المحركات الحرارية ذات الاحتراق الداخلى يتم فيها تحويل الطاقة الكيميائية Chemical energy المختزنة فى الوقود عند احتراقه مباشرة فى إسطوانات المحرك إلى طاقة حرارية Thermal energy ثم تحويل الطاقة الحرارية الناتجة إلى طاقة ميكانيكية Mechanical energy وتظهر الطاقة الميكانيكية بدوران عمود الكرنك كما هو موضح بشكل (1-1).

ويوضح شكل (1-2) مراحل تحويل الطاقة الحرارية للوقود إلى طاقة ميكانيكية بواسطة محرك الاحتراق الداخلى.

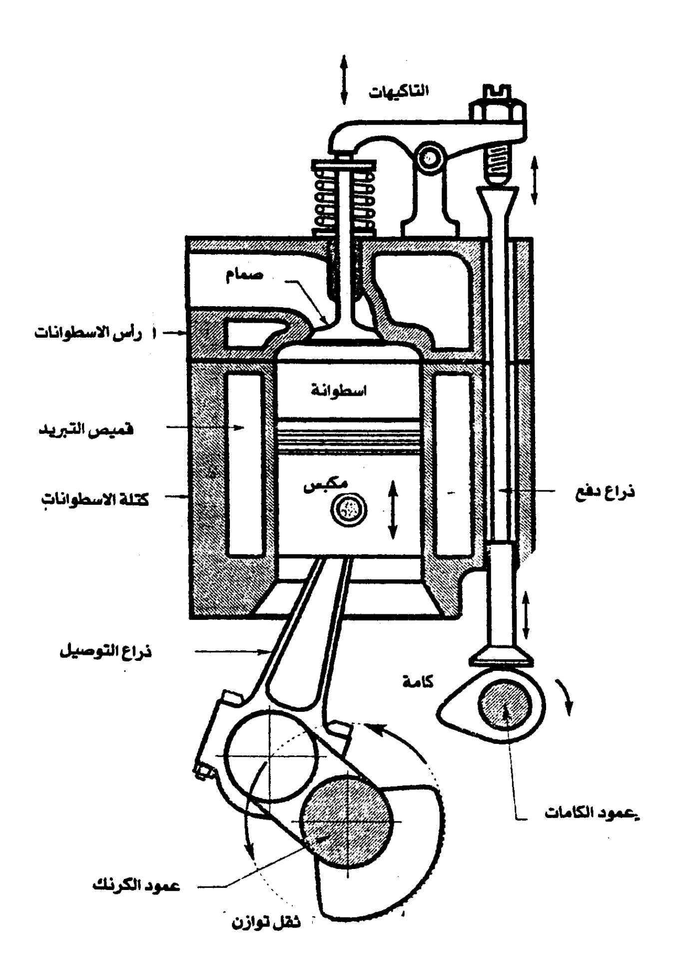


شكل (1-1) المحرك Engine



شكل (1-2) مراحل تحويل الطاقة الحرارية للوقود إلى طاقة ميكانيكية بواسطة محرك احتراق داخلى

يتكون المحرك بصفة أساسية من عدد من الاسطوانات Cylinders يتحرك داخل كل منها مكبس Piston حركة ترددية و تتحول إلى حركة دورانية لعمود المرفق (الكرنك) Crank shaft عن طريق أذرع التوصيل Connecting rods بحيث تشارك جميع المكابس فى إدارة عمود الكرنك كما هو موضح بشكل (1-3).



شكل (1-3) مكونات المحرك

ويوجد فى رأس الاسطوانة صمامين، أحدهما صمام السحب Suction valve يسمح بدخول الهواء أو الهواء + الوقود والثانى صمام العادم Exhaust Valve يسمح بخروج غازات العادم وآليات تشغيله تسمى التاكيهات وتأخذ حركتها من عمود الكامات Cam shaft عن طريق عمود الدفع.

ويحتوى المحرك على ملحقات Engine Accessories عبارة عن أجهزة مثبتة عليه أو متصلة به، ولا يمكنه أن يعمل بدونها، فهى تساعد على بدء تشغيله وتبريده وتزييته واستمرار عمله بكفاءة وتعرف هذه الملحقات بالأجهزة المساعدة لمحرك.

نظام الوقود: يتكون نظام الوقود فى محركات البنزين من خزان للوقود ومضخة ومغذى "كاربراتير" لخلط البنزين بالهواء وأنابيب لتوصيل الوقود من الخزان إلى المحرك. وفى أغلب المحركات الحديثة يتم استخدام الرشاشات بدلاً من المغذى لجودة تذريتها للوقود وتقليل استهلاكه. أما فى محركات الديزل فيتكون نظام الوقود من خزان الوقود ومضخة توصيل وفلاتر ومضخة حقن الوقود ورشاشات.

نظام الإشعال: يحتاج المحرك البنزين إلى نظام الإشعال الذى يمكن بواسطته الحصول على شرارات كهربائية ذات ضغط عال (تصل إلى 30.000 فولت) تتسبب فى إشعال الخليط الموجود بداخل غرفة الاحتراق. ويتم توليد الشرارات فى ملف الإشعال ثم توصيلها إلى داخل غرف الاحتراق بالمحرك عند نهاية شوط الضغط ليتم إشعال خليط الهواء والوقود المضغوط بغرف الاحتراق مما ينتج عنه حرق الشحنة وانفجارها ومن ثم دوران المحرك.

نظام التزييت: يستعمل زيت التزييت لحماية الأجزاء المعدنية المتحركة فى المحرك من التلف نتيجة احتكاكها وذلك بمنع التلامس المباشر بين أى سطحين معدنيين يتحركان بالنسبة لبعضهما. فإن عدم وجود طبقة رقيقة من الزيت بين سطحين معدنين متحركين ينتج عنه تآكل أجزاء المحرك ومن انهيار المحرك وتلفه.

والغرض من نظام التزييت هو تزويد الأجزاء المتحركة بداخل المحرك بزيت التزييت لتسهيل حركتها وحمايتها من التآكل الشديد. ويوجد نظام التزييت بداخل جسم المحرك. وتقوم مضخة الزيت بأخذ الزيت من وعاء تجميع الزيت علبة الكرنك (الكارتير) وتدفعه خلال ثقوب بجسم المحرك وعمود المرفق (مسارات التزييت). وبذلك يصل الزيت إلى الكراسى التى ترتكز عليها العمدة الدائرة والأجزاء المتحركة من المحرك.

نظام التبريد: حيث إن احتراق خليط الهواء والوقود يولد درجات حرارة عالية تصل إلى أكثر من 1000°C فيجب على المحرك أن يتخلص من جزء من هذه الحرارة حتى لا يتلف نتيجة لشدة سخونته. ويتم التخلص من هذه الحرارة الإضافية بواسطة نظام التبريد.

1-3- تقسيم محرك الاحتراق الداخلى

Classification of Internal Combustion Engine

يمكن تقسيم محركات الاحتراق الداخلى إلى:

1-3-1- من حيث طريقة الاشتعال .... *Method By The Ignition*

أ- محركات الاشتعال بواسطة الشرارة *Spark Ignition Engines (S.I)*

- المحرك الجازولين *Gasoline Engine*

يستخدم فى هذه المحركات وقود سريع الاشتعال "الجازولين" Gasoline أو ما يطلق عليه البنزين ويدخل هذا الوقود فى إسطوانة المحرك بعد تحويله إلى رذاذ، وخلطه بكمية معينة من الهواء، وهذا الجهاز يخلط الوقود بالهواء بنسب معينة يمكن التحكم فيها، و يتم الإشعال بواسطة شرارة كهربائية فى نهاية شوط الضغط.

وتصنف محركات الاشتعال بالشرارة أيضاً طبقاً لطريقة تجهيز الوقود على النحو التالى:

١- محركات تحتوى على مغذى "كاربراتير" Carburetor يقوم بتجهيز الوقود أى خلطه مع الهواء بنسبة معينة.

٢- محركات تستخدم رشاشات فى تجهيز الوقود وتشمل:

- حقن الوقود من خلال فتحة ماسورة السحب.

- حقن الوقود فى الاسطوانة بعد ضغط الهواء داخل الاسطوانة وقبل الاشتعال وذلك بواسطة رشاشات (بخاخات).

- المحرك الغازى Gas Engine

الوقود المستخدم فى هذا المحرك هو الغاز الطبيعى أو الغاز الناتج من مولد غازى، ويستخدم المحرك الغازى خليطا من الغاز والهواء اللذان يضغطان سويا بعد خلطهما جيدا، وبعد حدوث الشرارة ينتشر اللهب داخل المخلوط وتتم عملية الاحتراق، ودائما يجب تنظيف الغاز من التركيبات الكيميائية التى قد تؤثر تأثيراً ضارا على معدن المحرك.

- المحرك المشترك:

هو محرك يعمل باستخدام الوقود السائل (بنزين مثلاً) والوقود الغازى (الغاز الطبيعى) كلا على حده. وهو محرك بنزينى فى الأصل ويمكن تعديله ليعمل بالغاز كما هو الحال الآن فى السيارات التى تعمل بالغاز الطبيعى بمصر حيث يعمل المحرك على وقود الغاز الطبيعى فقط وعند عدم توفر الغاز يتم تحويله لاستخدام الوقود السائل (بنزين).

ب- محركات الاشتعال بالانضغاط Compression Ignition Engines (C.I)

ويتم الاشتعال بواسطة رفع ضغط الشحنة إلى درجة الاشتعال الذاتى للوقود وبعد ذلك يتم دفع الوقود إلى الهواء المضغوط الموجود داخل غرفة الاحتراق.

- محركات الديزل Diesel Engines

فى هذه المحركات يسحب الهواء النقى ثم يحفظ بنسبة كبس (انضغاط) عالية فينتج عن ذلك ارتفاع كبير فى درجة الحرارة، ويدفع الوقود الديزل حيث يختلط بالهواء المضغوط الموجود بها، فيشتعل هذا الخليط تلقائيا نتيجة للحرارة

العالية الناتجة عن الانضغاط، ويستخدم فى هذه المحركات وقود الديزل المعروف بوقود السولار وهو أقل تطايرا من وقود محركات الاشتعال بالشرارة.

- المحرك المختلط *Gas-Diesel Engine*

فى هذا المحرك يستخدم غاز الميثان أو الغاز الطبيعى وهى غازات تحتمل نسبة انضغاط عالية ويصمم المحرك تماما كالمحرك الديزل العادى وتسحب غاز وهواء يتم خلطهم وضغطهم ثم يحقن الديزل فى الخليط المضغوط فيشتعل مخلوط الهواء والغاز.

1-3-2- طبقاً للغرض من الاستخدام

تنقسم المحركات طبقاً للغرض من الاستخدام على النحو التالى:

أ- محركات السيارات automobile engines

وهى المحركات التى تستخدم مع سيارات ركوب الأشخاص.

ب- محركات القطارات Track engines

وهى المحركات التى تستخدم لتشغيل قطارات السكك الحديد والحافلات.

جـ محركات المتنقلة Locomotive engines

وهى محركات محمولة على هيكل ويتم تنقلها من موقع إلى آخر.

د- محركات ثابتة Stationary engines

وهى محركات يتم تثبيتها على قاعدة فى الأرض بغرض تشغيل معدات ثابتة أو معدات توليد الكهرباء.

هـ- محركات السفن Mirine engine

وهى المحركات التى تعمل فى مجال النقل البحرى.

و- محركات محطة القدرة المتنقلة Portable power system

وهى محركات متنقلة متصلة بمولد كهربائى.

ز- محركات توليد القدرة Power generation

وهى محركات تستخدم فى محطات توليد القدرة.

1-3-3- طبقاً لنوع الوقود: By the Fuel type

- محرك وقود جازولين Gasoline
- محرك وقود ديزل Diesel
- محرك وقود الغاز (الغاز الطبيعى Natural gas أو اى غاز)
- محرك وقود الكحول (يستخدم الوقود Alcohols ,methanol, ethanol)
- محرك وقود هيدروجين Hydrgen
- محرك مزدوجى الوقود Dual ويستخدم نوعين من الوقود.

1-3-4- من حيث خلط الشحنة By The Fuel-Air Mixing Method

أ- محركات خلط خارجى للشحنة *Engines with External Mixing*

ويتم فيها مزج الهواء مع الوقود خارج المحرك.

ب- محركات خلط داخلى للشحنة *Engines with Internal Mixing*

ويتم فيها دخول الهواء إلى المحرك ثم يحقن الوقود ويتم مزج الهواء مع الوقود فى الداخل.

1-3-5- من حيث عدد الأشواط فى الدورة الحرارية

By The Number of Strokes in One Complete Cycle

أ- محركات رباعية الأشواط *Four Stroke Engines*

يتم فى هذه المحركات إتمام الدورة الحرارية فى أربعة أشواط متتابعة وتحتاج إلى لفتين من عمود الكرنك وتكون الأشواط على النحو التالى الشوط الأول لأسفل (180° أى نصف لفة) وآخر لأعلى (180° أى نصف لفة)، وبذلك يتم لفة كاملة من عمود الكرنك ثم شوط لأسفل (180° أى نصف لفة) وآخر لأعلى (180° أى نصف لفة) وبذلك يتم لفتين كاملتين بزاوية مرفقية قدرها (2 X 360° = 720°).

ب- محركات ثنائية الأشواط *Two Stroke Engines*

يتم فى هذه المحركات إتمام الدورة الحرارية فى شوطين. وتحتاج لفة واحدة من عمود الكرنك وهى على النحو التالى:

شوط لأسفل (180° أى نصف لفة) وآخر لأعلى (180° أى نصف لفة) وبذلك تتم لفة كاملة أى زاوية مرفقية قدرها (1 X 360° = 360°)

1-3-6- من حيث عدد الاسطوانات *By The Number of Cylinders*

أ- محركات ذات اسطوانة واحدة *Single Cylinder Engines*

ب- محركات متعددة الإسطوانات *Multi Cylinder Engines*

1-3-7- من حيث ترتيب الإسطوانات *By Cylinders Arrangement*

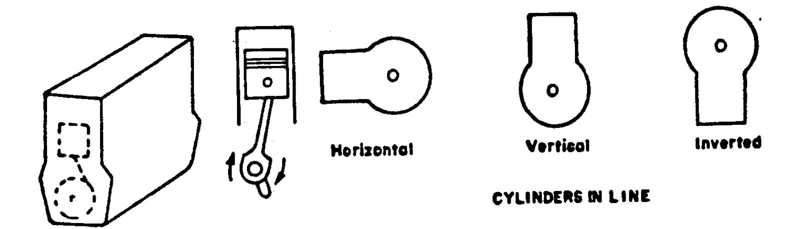
تعتبر طريقة ترتيب الإسطوانات واحدة من أكثر الطرق شيوعا لتصنيف المحركات الترددية.

أ- المحركات المستقيمة *In-Line Engines*

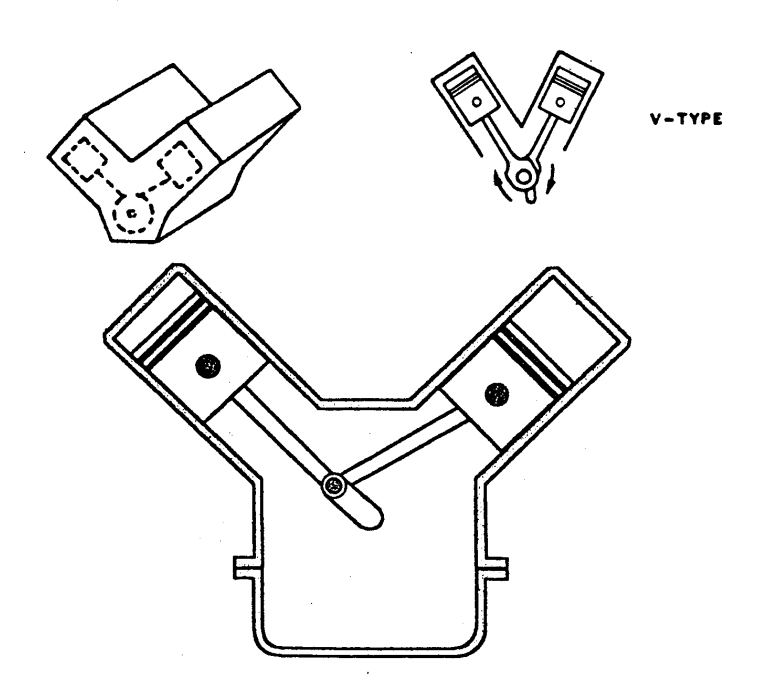
المحرك المستقيم عبارة عن محرك يحتوى على صف واحد من الأسطوانات، أو بتعبير آخر هو المحرك الذى ترتب فيه الأسطوانات بصورة خطية ويتم نقل القدرة من هذه الأسطوانات إلى عمود مرفقى واحد، وهذا النوع من المحركات هو الأكثر انتشاراً وتعتبر المحركات ذات أربعة أسطوانات والمحركات ذات ست أسطوانات المرتبة خطيا من النوع الشائع لهذه المحركات شكل (1-4). ويلاحظ من الرسم أنه يمكن تقسيم المحرك المستقيم حسب اتجاه حركة المكبس فقد يكون أفقياً أو رأسياً .

ب- المحركات على هيئة حرف (V) *V-Type Engines*

فى المحركات ذات الستة اسطوانات فأكثر يكون من الصعوبة وضع الاسطوانات فى خط مستقيم بسبب زيادة طول المحرك واهتزاز Vibration عمود الكرنك لهذا تكون الاسطوانات فى بعض المحركات الكبيرة والمستخدمة فى سيارات النقل والمعدات الثقيلة. مرتبة فى صفين مائلين على شكل حرف V (شكل 1-5).



شكل (1-4) المحركات المستقيمة



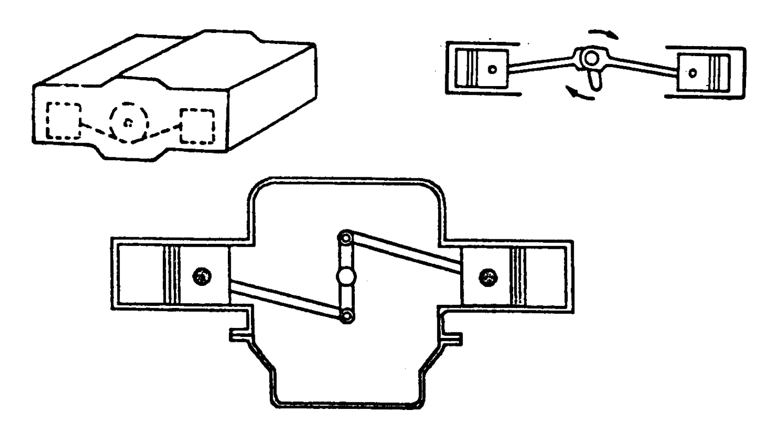
شكل (1-5) المحركات على شكل حرف V

ويكون نصف عددها فى جانب والنصف الآخر فى الجانب المقابل. يسمى المحرك فى هذه الحالة بالمحرك على هيئة حرف (V) V-engine. فى المحركات ستة اسطوانات حرف V وتكون الزاوية بين الجانبى 60° درجة بينما تكون الزاوية 90° فى المحرك ثمانية اسطوانات. هذه الزوايا محددة بهذه القيم لتعطى أقصى اتزان ممكن للمحرك خلال تشغيله فى الظروف العادية.

فى هذا النوع من المحركات يتم ترتيب الإسطوانات فى صفين على عمود مرفقى واحد، وينتشر هذا النوع فى محركات المركبات الكبيرة والتى يلزمها محرك متعدد الإسطوانات فى حيز ضيق.

جـ- محرك مسطح Horizontally piston flat engine

يعرف المحرك المسطح بمحرك متضاد الاسطوانات Opposed Engine ويتكون هذا المحرك من مجموعتين من الأسطوانات موضوعة فى مستوى واحد على جانبى العمود المرفقى وبتعبير آخر يمكن اعتبار هذا المحرك مجموعتين من الأسطوانات المرتبة بصورة مستقيمة بينهما زاوية مقدارها 180° (شكل1-6) ويمتاز هذا المحرك بإتزانه وقصر طوله وكذلك بإحتوائه على عمود مرفقى واحد ويستخدم هذا النوع من المحركات فى بعض السيارات الصغيرة ويكون مناسب لتبريد الهواء.

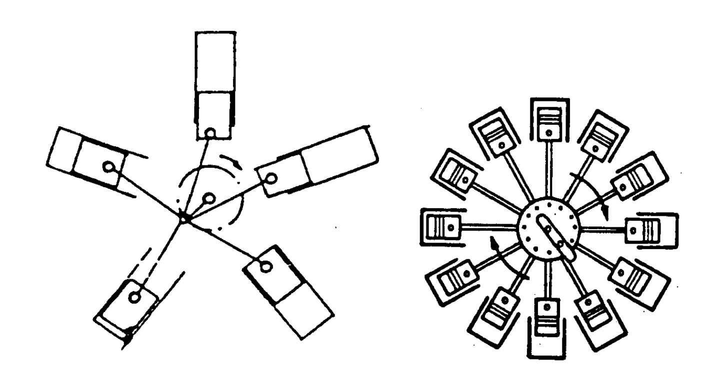


شكل (6-1) محرك مسطح Flat Engine

د- المحرك الدائرى *Radial Engines*

يحتوى هذا النوع من المحركات على أكثر من أسطوانتين فى صف واحد موزعة بصورة منتظمة حول العمود المرفقى، ويستخدم هذا النوع من المحركات فى الطائرات التى تبرد بواسطة الهواء، وفى هذا المحرك تكون كتل المحرك فيما بينها دائرة وتتوقف الزاوية بين كتل الاسطوانة على عدد الاسطوانة. (شكل 1-7).

ومن الممكن استخدام مجموعتين أو ثلاثة مجاميع والمشكلة التى تواجه هذا النوع من المحركات هى كيفية ربط وتثبيت (7,5,3 أو 9) أذرع التوصيل إلى مرفق واحد ولحل هذه المشكلة فقد تم استخدام ذراع رئيسى ترتبط به أذرع مفصلية ويرتبط الذراع الرئيسى بالمرفق ويلاحظ أن الذراع الرئيسى فى هذا النوع من المحرك يقوم بتنفيذ نفس الحركة التى يقوم بها ذراع التوصيل فى المحركات الاعتيادية بينما تختلف حركة الذراع المفصلى قليلاً لأن نقطة الارتباط ليست فى مركز مسمار المرفق. وتستخدم المحركات الدائرية ذات عمود إدارة رأسى فى محطات توليد القدرة الكبيرة. فى المحرك الدائرى الاسطوانات ذات الأشواط الأربعة يعتبر وجود تحدد مفرد الاسطوانات فى كل مجموعة ضرورى لإتمام عملية الاشتعال فى الاسطوانات بصورة متناوبة ولكن فى المحركات الثنائية الشوط من الممكن استخدام أى عدد من الاسطوانات.



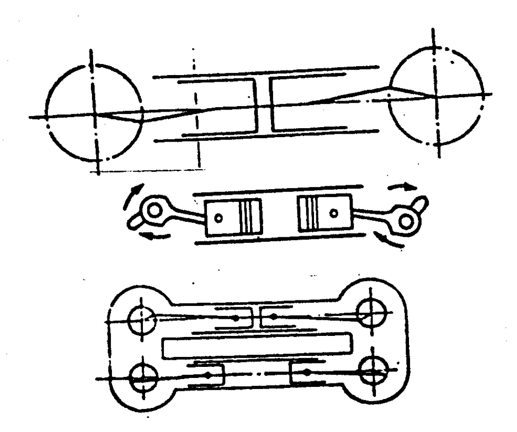
شكل (1-7) المحرك الدائرى

هـ- محرك متقابل المكبس

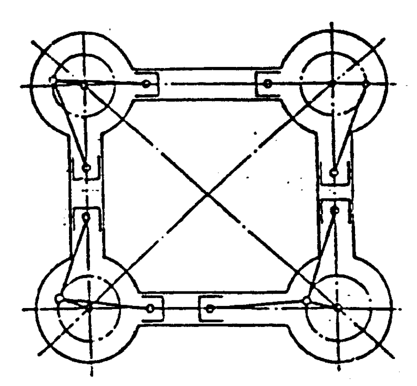
تحتوى الأسطوانة فى هذا النوع من المحركات على مكبسين كل منهما يحرك عمود مرفقى منفصل عن الآخر ويمتاز هذا النوع من المحركات بإتزانه كما هى الحال فى المحرك متضاد الأسطوانات بالإضافة إلى ذلك فإن أسطوانة هذا النوع من المحركات لا تحتوى على رأس أو غطاء، كما أن السرعة النسبية للمكبس (معدل تغيير الحجم) تكون مضاعفة، وكما يلاحظ من الشكل فان هذا الترتيب يسمح بدخول وخروج الغازات فى نفس الاتجاه أثناء عملية الاكتساح كما أن موقع المكبس داخل الأسطوانة هو الذى يسيطر على فتح أو غلق فتحات صمامى الدخول والعادم، ويعرف هذا النوع من المحركات بالمحرك زوجى التأثير *Double Acting Engine* وهذا النوع غير شائع الاستعمال نظرا لصعوبة التصنيع ويوضح شكل (1-8) التصميمات المختلفة للمحرك المتقابل المكبس.

و -- محرك "X"

يختلف هذا النوع من المحركات عن المحرك نوع (V) بكونه يحتوى على أربع مجاميع من الاسطوانات متصلة بعمود مرفقى واحد (شكل 1-9).



شكل (1-8) المحرك المتقابل



شكل (1-9): محرك حرف X

ح- محرك "H" :

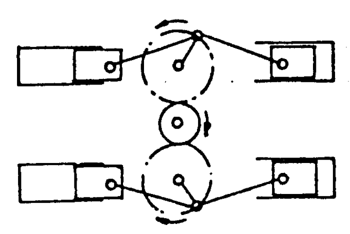
يتكون هذا المحرك من محركين من نوع "متضاد الاسطوانات" لكل منهما عمود مرفقى مستقل عن الآخر ولكنهما مرتبطان مع بعضهما (شكل 1-10).

ز- محرك "U":

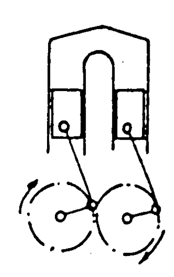
هذا المحرك يشبه محرك متضاد المكبس من حيث المبدأ ولكنه يختلف عنه فى الترتيب (شكل 1-11).

س- محرك دلتا " Δ ":

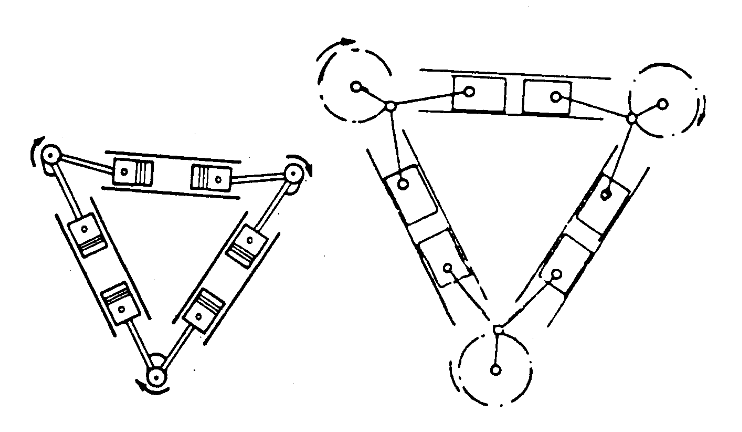
يتكون هذا المحرك من ثلاث مجاميع من المكابس المتضادة وثلاث أعمدة مرفقية (شكل 1-12).



شكل (1-10) محرك حرف H



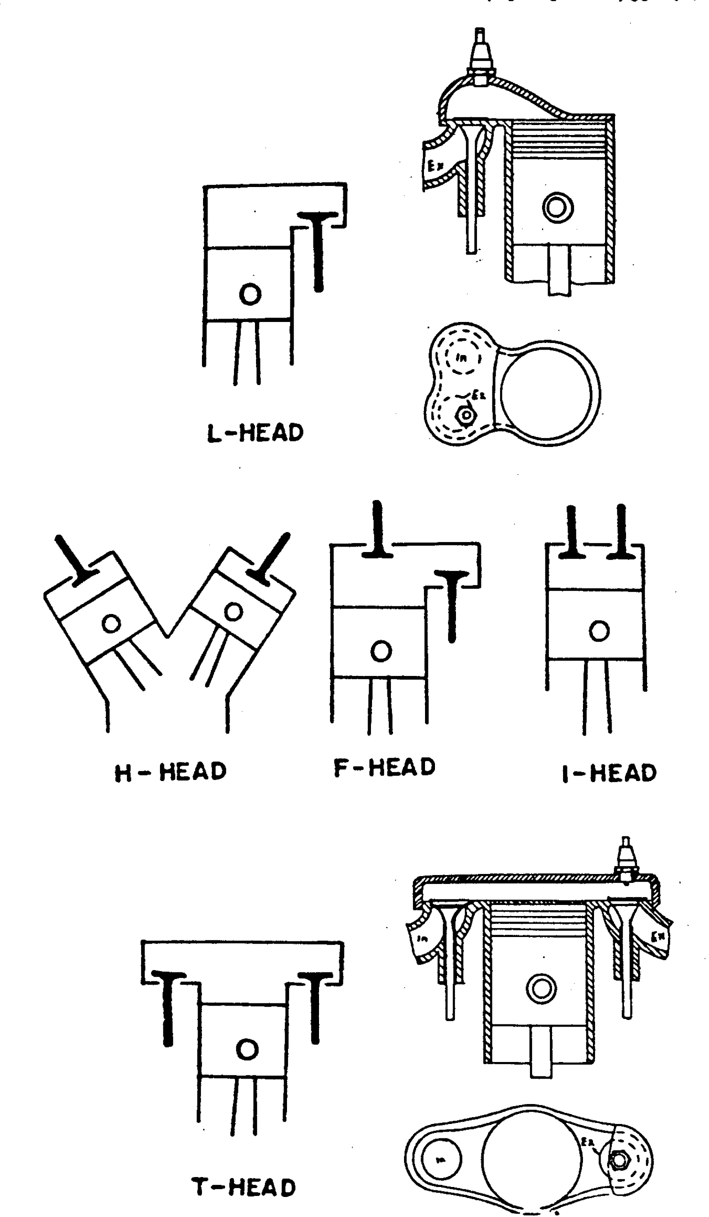
شكل (1-11): محرك حرف U



شكل (1-12) محرك دلتا

1-3-8- من حيث ترتيب الصمامات *Valves Arrangement*

يمكن تقسيم المحركات أيضا طبقا لوضع وترتيب صمامات السحب والعادم، وهذا يعتمد على وضع الصمام فى كتل المحرك أو فى رأس الأسطوانات *Cylinder Head*، ويرمز للأوضاع المختلفة للصمامات بالحروف *H ,F, I , T ,L* وهى أوضاع شائعة فى المحركات ويوضح شكل (1-13) تقسيمات المحركات من حيث ترتيب الصمامات.



شكل (1-13) تقسيمات المحركات من حيث ترتيب الصمامات.

أ- محركات ذات رأس L

وفيها تكون غرفة الاحتراق والإسطوانة شكلا يشبه الحرف L وتكون صمامات السحب والعادم جنبا إلى جنب وجميع صمامات المحرك فى صف واحد، ويسمح هذا الوضع باستعمال عمود كامات واحد لتشغيل جميع الصمامات، وبما أن مجموعة تحريك الصمامات تكون موجودة فى جسم الاسطوانة فإن ذلك يسهل عملية فك كتلة رأس الاسطوانة لعمل الإصلاحات الكبيرة بالمحرك ويعيبه أنه لا يمكن استخدامه عند نسبة الانضغاط العالية..

ب- محركات ذات رأس I

تركب الصمامات فى رأس الأسطوانة فى المحركات ذات الرأس I ويطلق على هذه الصمامات "الصمامات العلوية" وفى المحركات ذات الأسطوانات الموجودة على خط مستقيم واحد تكون الصمامات كلها فى صف واحد، لذلك فإنه يلزم عمود كامات واحد لتشغيل جميع الصمامات، وقد تكون أعمدة الكامات علوية فى بعض المحركات ذات الصمامات العلوية محركات سيارات السباق. وبهذه الطريقة يمكن الاستغناء عن روافع دفع الصمامات والأذرع المتأرجحة لنقل الحركة للصمامات، إلا أنه يحتاج الأمر فى هذه الحالة إلى جنزير وعجلات مسننة أو مجموعة تروس لنقل الحركة من عمود المرفق إلى عمود الكامات، وقد انتشر استعمال الصمامات العلوية فى السنوات الأخيرة لأنها تمكن المصمم من الوصول بالمحركات إلى نسب انضغاط عالية.

جـ - المحركات ذات الرأس F

يمكن اعتبار هذا النوع من المحركات هو جمع بين الرأس L والرأس I وتكون صمامات السحب فى رأس الأسطوانات فى حين توجد صمامات طرد العادم فى جسم الأسطوانة، وتأخذ مجموعتا صمامات السحب والعادم حركتهما من عمود كامات واحد.

د- المحركات ذات الرأس H

وتكون كل الصمامات فوق الأسطوانات خصوصا فى المحركات على هيئة حرف V ويستعمل عمود تاكيهات واحد لتشغيل الصمامات .

هـ- المحركات ذات الرأس T

وتكون صمامات السحب فى جانب وصمامات العادم فى جانب اخرى لذلك فإنه يلزم عمودين كامات (عمود لكل جانب) لتشغيل الصمامات.

1-3-9- طبقا لطريقة التبريد *By The Cooling Method*

ويمكن تقسيم المحركات طبقا لطريقة التبريد وبصفة رئيسية يوجد نوعين من التبريد:-

أ- محركات التبريد بالهواء *Air Cooled Engines*

وفيه يمكن تبريد المحرك بواسطة مرور تيار من الهواء مباشرة على إسطوانات المحرك، وتستخدم هذه الطريقة غالباً مع المحركات ذات القدرة المنخفضة.

ب- محركات التبريد بالسوائل *Liquid Cooled Engines*

ويستخدم مع المحركات ذات القدرة الكبيرة وفيه يتم سحب الحرارة بطريقة غير مباشرة عن طريق دورة تبريد باستخدام سائل ما وفى الغالب يكون المياه.

1-3-10- طبقا للسرعة الخطية للمكبس *By The Mean Piston Speed*

يتحرك المكبس حركة ترددية وتكون سرعة المكبس متغيرة لذلك تحسب السرعة المتوسطة لحركة المكبس وتؤخذ أساس لتقسيم المحركات كمايلى:

أ- محركات منخفضة السرعة الخطية *Low rate* :

وتتراوح فيها السرعة من 4.5 إلى 7 متر / ث.

ب- محركات متوسطة السرعة الخطية *Medium rate*

وتتراوح فيها السرعة من 7 إلى 10 متر / ث.

جـ- محركات عالية السرعة الخطية *High rate*

وتتراوح فيها السرعة أكبر من 10 متر / ث.

1-3-11- طبقا للسرعة الدورانية لعمود الكرنك

By The Rate of Crankshaft Rotation

ويمكن تقسيم المحركات طبقا لسرعة دوران عمود الكرنك على النحو التالى:

أ ـ محركات منخفضة السرعة الدورانيــة

وتتراوح فيها السرعة الدورانية من 100 إلى 750 لفة/ دقيقة.

ب ـ محركات متوسطة السرعة الدورانية

وتتراوح فيها السرعة الدورانية من 750 إلى 2500 لفة/ دقيقة.

جـ ـ محركات عالية السرعة الدورانية

وتتراوح فيها السرعة الدورانية أكبر من 2500 لفة/ دقيقة.

1-3-12- طبقاً لدورة الديناميكا الحرارية المستخدمة

The thermodynamic cycle used

ويمكن تقسيم المحركات أيضاً طبقا لنوع الدورة الحرارية التى يعمل عليها المحرك وذلك على النحو التالى:

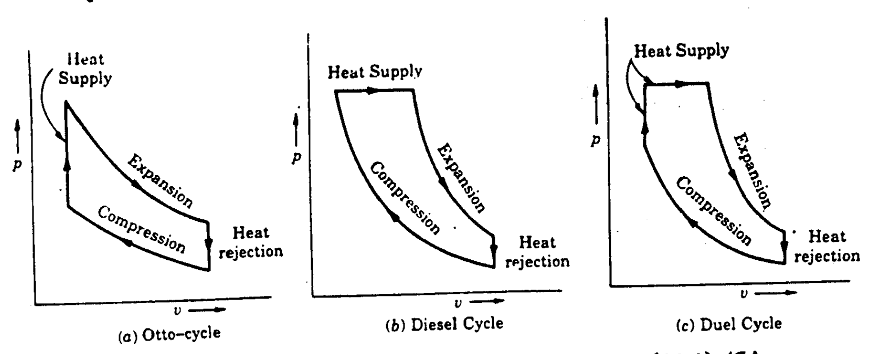
أ- محركات تعمل بدورة أوتو Otto – cycle وذلك فى محركات الجازولين.

ب- محركات تعمل بدورة ديزل Diesel cycle Dual cycle وذلك فى محركات الديزل. ويوضح شكل (1-14) منحنى التغير فى الحجم والضغط للدورات الديناميكا الحرارية المستخدمة فى المحركات.

1-3-13- طبقاً لنوع التصميم Design

أ- المحركات النمطية (الترددية)

فى المحركات النمطية أو التقليدية يتحرك المكبس حركة ترددية داخل الاسطوانة تتحول إلى حركة دورانية لعمود الكرنك عن طريق أذرع التوصيل.



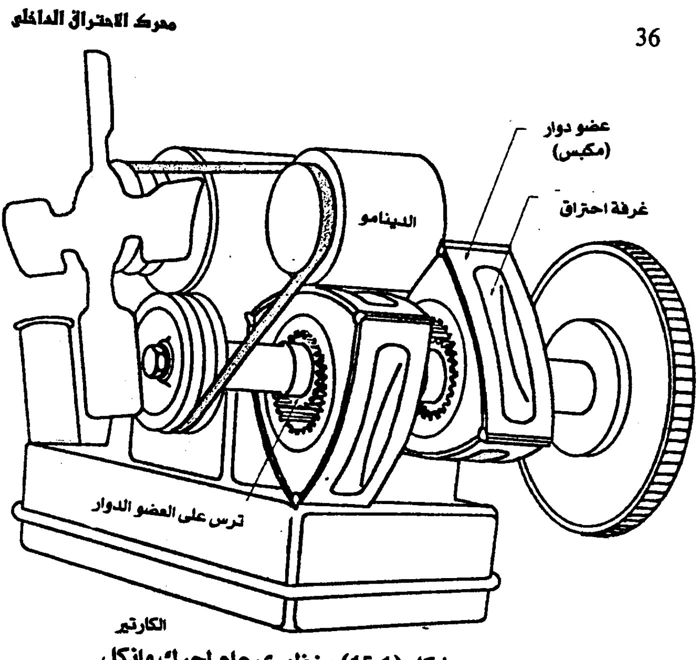
(a) Otto–cycle (b) Diesel Cycle (c) Duel Cycle

شكل (1-14) منحنى التغير فى الحجم والضغط للدورات الديناميكا الحرارية المستخدمة فى المحركات.

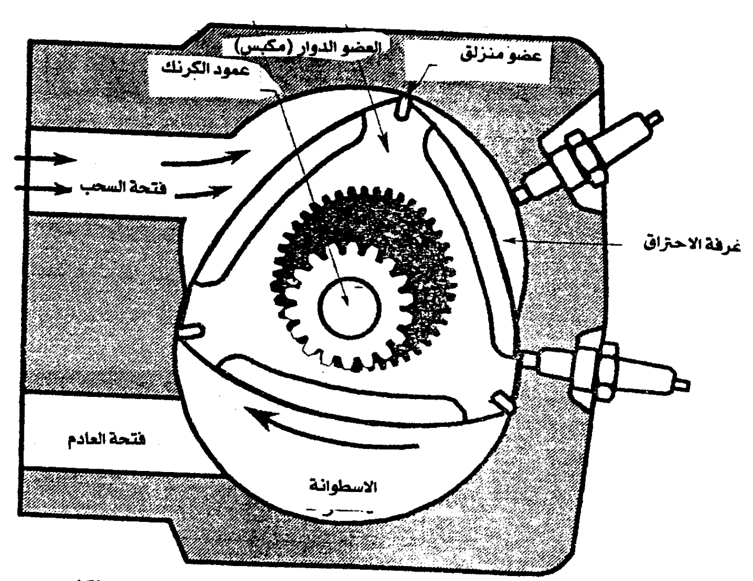
ب- محرك دوار Rotary Engine

يختلف هذا المحرك فى التصميم عن المحركات الترددية فهو محرك دوار Rotary Engine. يسمى المكبس هنا عضو دوار Rotor حيث أن مقطعه على شكل مثلث مقوس الأضلاع ويتحرك داخل الاسطوانة حركة دورانية من خلال أسنان حول ترس على عمود الكرنك. أى أن المكبس لا يتحرك ترددياً داخل الاسطوانة. إلا أنه يتشابه معها فى نظرية العمل كما سوف نوضح فيما بعد. ويعرف المحرك الدوار بمحرك وانكل Winkle engine الذى تم اختراعه فى الربع الأخير من القرن العشرين ومنذ ذلك لم تتوقف محاولات تطويره ووضعه على خريطة الاستخدام التجارى.

ويوضح شكل (1-15) منظور عام لمحرك دوار (محرك وانكل) موضحا عليه أهم الأجزاء حيث يظهر عمود الكرنك مثبتاً عليه مكبسين (بدون اسطوانة) ويشبه المحرك الدوار – المحرك الترددى من الخارج إلا أن الاسطوانة فى محرك وانكل تختلف من حيث الشكل فهى ليست دائرية كما هو موضح فى شكل (1-16) الذى يبين مقطع داخل اسطوانة فى محرك ونكل يظهر بداخله المكبس.



شكل (1-15) منظورى عام لمحرك وانكل



شكل (1-16) مقطع داخل اسطوانة محرك وانكل

الباب الثانى

الأجزاء الرئيسية للمحرك

Engine Components

الباب الثانى

الأجزاء الرئيسية للمحرك

Engine Components

2-1- مقدمة

تتكون محركات الإحتراق الداخلى مهما إختلفت تصميماتها من الأجزاء الآتية:

أ- الأجزاء الثابتة فى المحرك وتشمل :

- كتلة الاسطوانات *Cylinders Block*
- رأس الاسطوانات *Cylinders Head*
- علبة المرفق (علبة الكارتير) *Crank Case*
- الكراسى الرئيسية (المحاور) *Bearing*

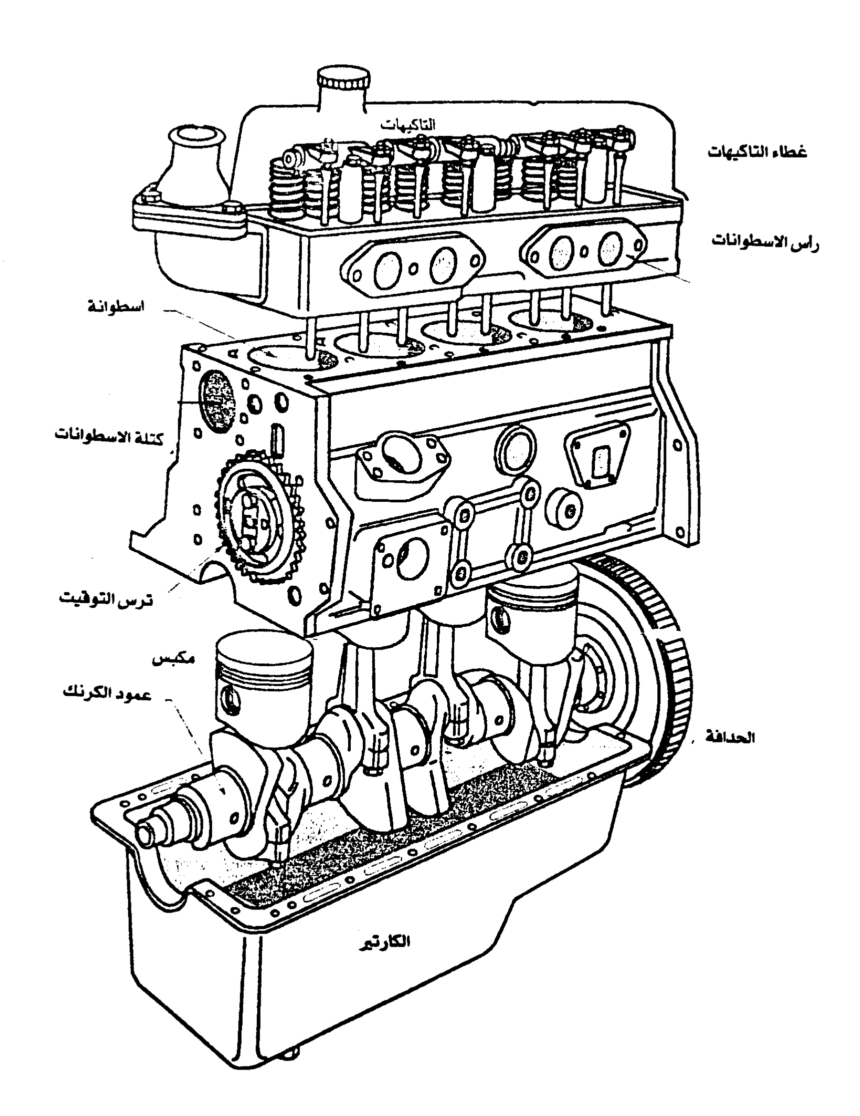
ب- الأجزاء المتحركة وتسمى المجموعة المرفقية وتشمل :

- عمود المرفق (الكرنك) *Crank Shaft*
- المكبس *Piston*
- الشنابر *Rings*
- ذراع التوصيل *Connecting Rod*
- الحدافة *Flywheel*

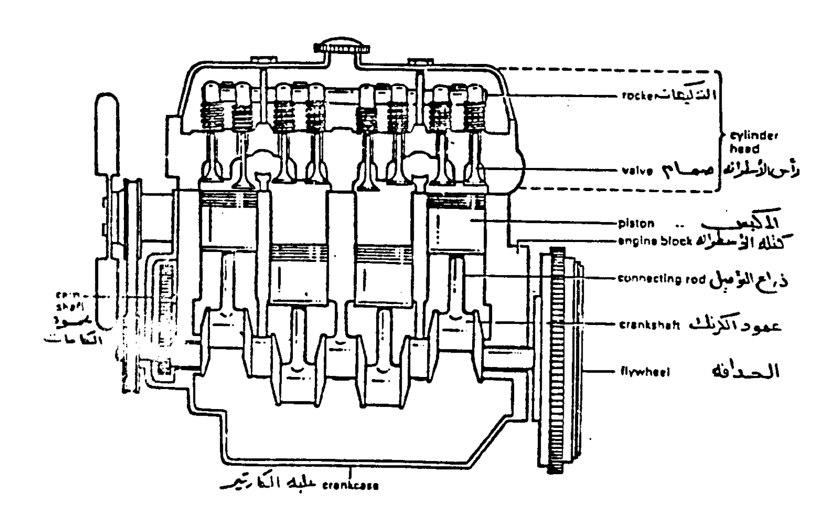
جـ- مجموعة توقيت فتح وغلق الصمامات و تشمل :

- عمود الكامات *Camshaft*
- الصمامات *Valves*
- التاكيهات *Rockers*
- عمود التاكيهات *Rocker Arm*

ويوضح الشكل (2-1) المكونات الأساسية للمحرك كما يوضح الشكل (2-2) قطاع لمحرك مستقيم أربع اسطوانات مبيناً عليها الأجزاء الرئيسية.



شكل (2-1): المكونات الأساسية للمحرك



شكل (2-2): قطاع لمحرك أحتراق داخلى رباعى الاسطوانات

2-2- الأجزاء الثابتة فى المحرك

أ - كتلة الاسطوانات Cylinders Block

تمثل كتلة الاسطوانة جسم المحرك الأساسى، وظائف الاسطوانة هى:

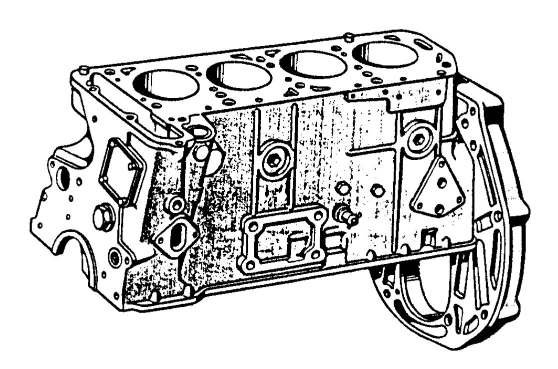
- تكون غرفة الاحتراق - تلقى الضغط المتولد - نقل الحرارة - توجيه المكبس.

ويجب أن يتوفر فى معدن الأسطوانة الآتى:

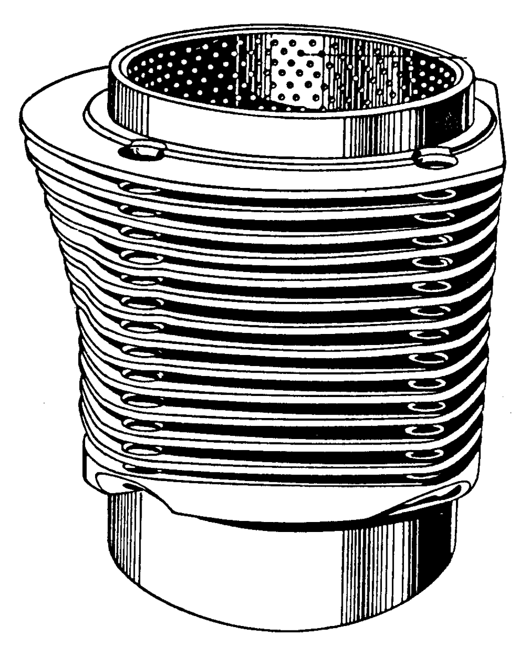
- مقاومة عالية لإجهاد الضغط خصوصاً عند درجات الحرارة العالية.
- مقاومة عالية للتآكل.
- جيدة التوصيل للحرارة.
- خفة الوزن.
- مقاومة عالية للصدأ.
- قدرة تلاصق جيدة مع زيوت التزييت.
- إمكانية إنتاجها بتكلفة أقل.

تصنع كتلة الاسطوانات من الزهر الرمادى الذى يحتوى على ٣٪ كربون وغالبا من الجرافيت المنفصل والذى يعطى الزهر اللون الرمادى، ويتميز الزهر الرمادى بأنه رخيص الثمن ويتحمل درجة الحرارة والضغوط العالية التى تحدث داخل الاسطوانة دون حدوث أى إعوجاج فيه، كما أنه ذو نعومة تساعد على سهولة تشكيله وتجعل من الممكن تشطيبه بقطعية واحدة ناعمة السطح كما أن الزهر الرمادى يقاوم التآكل والصدأ وقادر على امتصاص الاهتزازات، وإذا ما تطلب الحال زيادة فى صلادته وقوته صنع على شكل سبيكة بإضافة النيكل أو الكروم إليه وربما تصنع كتلة الاسطوانات من الصلب أو الألونيوم لخفة الوزن، ويوضح شكل (2-3) نموذج من كتلة الاسطوانات. وكتلة الاسطوانات يثبت فيها معظم أجزاء المحرك الأخرى وتحافظ عليها فى أوضاع ملائمة بالنسبة إلى بعض.

وتوجد فى كتلة الاسطوانات ممرات "جيوب" التبريد المحيطة بالاسطوانات وكذلك كراسى التحميل الأساسية لعمود المرفق وكراسى التحميل لعمود الكامات وفى محركات التبريد بالهواء تزود كتلة الاسطوانات بزعانف لزيادة مساحة التبريد وتحدث محركات التبريد بالهواء ضوضاء عالية أكبر منها فى المحركات ذات التبريد بالماء وذلك لإنعدام دور قميص الماء فى خمد الضوضاء ويوضح شكل (2-4) نموذج لكتلة اسطوانة لمحرك تبريد هواء.



شكل (2-3): كتلة الاسطوانات محرك تبريد مياه



شكل (2-4): كتلة اسطوانات محرك تبريد هواء مزودة بزعانف تبريد

ويلاحظ أنه فى محركات التبريد بالماء يتم صب مجموعة الاسطوانات ككتلة واحدة أما المحركات ذات تبريد الهواء فتتكون عادة من اسطوانات منفصلة تثبت على علبة المرفق (الكارتير) بواسطة مسامير

الاجهادات المؤثرة على الاسطوانة تنتج من:

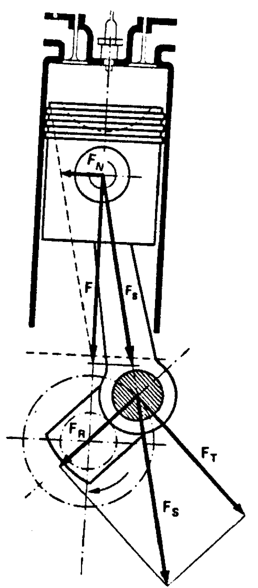
1- الضغط العالى من 0.6 MPa إلى 10.4MPa فى محركات أوتو بنزين وتبلغ فى محركات الديزل من 0.5 MPa إلى 0.8MPa

2- درجة الحرارة العالية (المحركات ذات التبريد بالمياه تبلغ درجة حرارة الاسطوانات من 80°C إلى 120°C بينما عند جدران اسطوانات المحركات المبردة بالهواء من 100°C إلى 220°C.

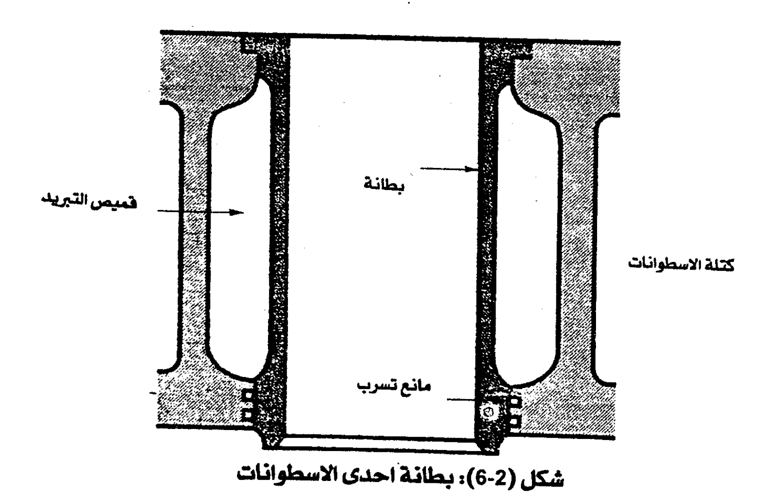
3- الاحتكاك: الاحتكاك بين المكبس والاسطوانة خصوصاً عندما يكون المكبس فى منتصف المشوار يدفع ذراع التوصيل المكبس ضاغطاً إياه بقوة على جدران الاسطوانة وينشأ عن هذا الضغط قوى احتكاك كبيرة.

فعند تحليل القوى المؤثرة على المكبس F (شكل 2-5) إلى مركبتين الأولى قوة جانبية F_N تؤثر عمودياً على جدار الاسطوانة، أما القوة الثانية F_s فإنها تؤثر على اتجاه ذراع التوصيل وبتحليل القوة F_s ينتج قوة مماسة لدائرة وقوة نصف قطرية F_R ويمثل طول كل سهم مقدار القوة

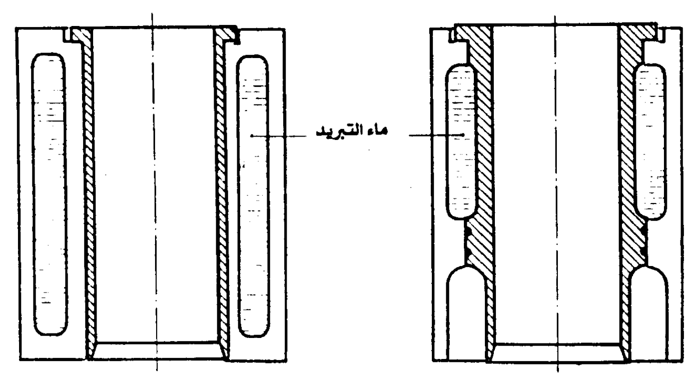
نظرا لتحرك المكبس إلى أعلى أو إلى أسفل فى تجويف الاسطوانة وبمرور الوقت يتآكل جدار الاسطوانات وينتج عن ذلك انخفاض ملحوظ فى كفاءة المحرك، وعلاوة على ذلك يفشل المحرك فى بدء حركته فور تشغيله، كما يزداد استهلاك الوقود وزيوت التزييت بشكل ملحوظ، ويصبح صوت المحرك عاليا، لذلك تزود كتل الاسطوانات بجلب الاسطوانة (بطانة أو قميص"الشميز Water Jaket") وهى عبارة عن اسطوانة رقيقة من حديد الزهر المسبوك الرمادى أو الصلب أو غير ذلك من السبائك المعدنية، وفى بعض الحالات تعالج حراريا لاكتسابها درجة صلادة خاصة، وذلك لزيادة مقاومة السطح للتآكل ويمكن تغييرها بسهولة عندما تتآكل بدلا من خراطة الاسطوانة نفسها، ويبين شكل (2-6) بطانة إحدى الاسطوانات ويلاحظ أن السطح العلوى لكتلة الاسطوانات يكون مستوياً ومجلخاً لتثبت رأس الاسطوانة عليه وهناك نوعان رئيسيان من جلب الاسطوانات وهما البطائن المبتلة التى تلامس مياه التبريد وتحيط بها (شكل 2-7 A) والبطائن الجافة التى لا تلامسها مياه التبريد (شكل 2-7 B).



شكل (2-5): تحليل القوة المؤثر على المكبس وتأثيرها على الاسطوانة



شكل (2-6): بطانة احدى الاسطوانات



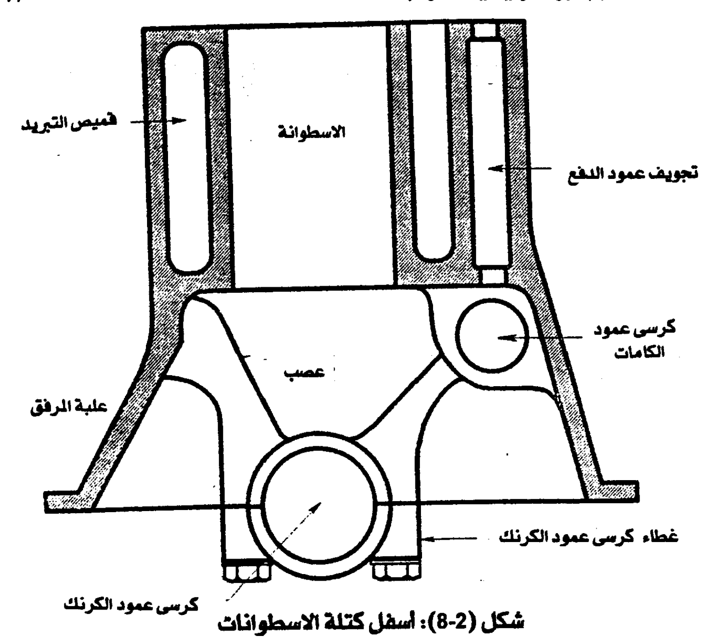
كل (2-7): بطائن الاسطوانات

A- المبتلة Wet liner

B- الجافة Dry liner

كتلة الاسطوانات تكون مشكلة من أسفل على هيئة تجويف يسمى علبة توجد به الكراسى الرئيسية Main bearings لعمود الكرنك فى المحرك رباعى الاسطوانات يكون عدد كراسى عمود الكرنك ثلاثة، اثنان منها فى الأطراف والثالث فى المنتصف يثبت النصف العلوى للكرسى فى جسم المحرك بواسطة أعصاب كما هو موضح فى شكل (2-8).

أما النصف السفلى له والذى يسمى غطاء الكرسى الرئيسى Main bearing cap، فأنه يثبت بواسطة مسمارين قلاووظ كما هو موضح بالشكل السابق. وتحتوى كتلة الاسطوانات تحتوى على كراسى عمود الكامات وعددها ثلاثة ويقع أعلى كراسى عمود الكرنك ومن الملاحظ أن قطر هذه الكراسى يكون أكبر من الكامات لسهولة ادخال عمود الكامات بها. وتحتوى كتلة الاسطوانة أيضا على مجارى لتوصيل الزيت لهذه الكراسى ومن المعروف أن الجزء كتلة الاسطوانة تكتمل من أسفل بخزان الزيت (الكارتير).

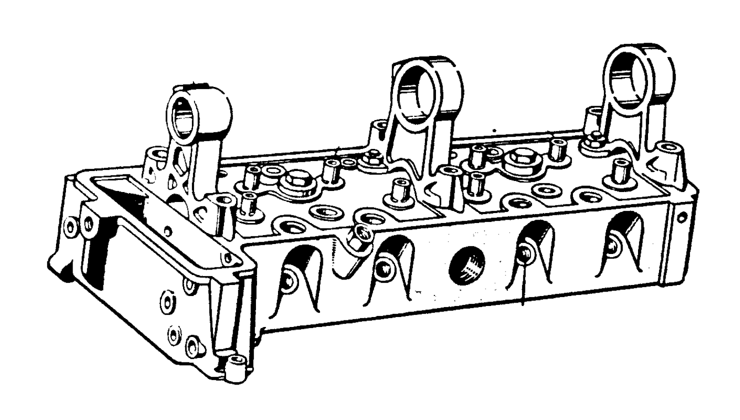


شكل (2-8): أسفل كتلة الاسطوانات

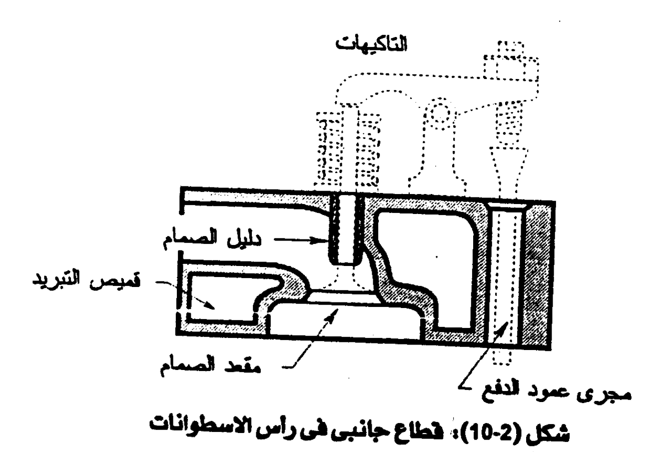
ب- رأس الاسطوانات Cylinders Head

هو الغطاء العلوى لكتلة الاسطوانات وعادة تسمى رأس الاسطوانات *Cylinders head* ويوضح شكل (2-9) نموذج لرأس الاسطوانات وهى عبارة عن كتلة واحدة، وتصنع رأس الاسطوانات من الحديد الزهر الرمادى وقد تستعمل فى صناعته سبيكة الألمنيوم التى تمتاز بمقدرتها على توصيل الحرارة، وذلك نظراً لتعرض رأس الاسطوانات لدرجات الحرارة العالية الناتجة من الاحتراق، وتتميز هذه السبيكة أيضاً بخفة وزنها، تزود رأس الاسطوانات بغرف الاحتراق وتجاويف الصمامات وفتحات خاصة لشمعات الاحتراق فى محركات البنزين أو رشاشات حقن الوقود فى محركات الديزل، بالإضافة إلى تجاويف لمرور مياه التبريد. وتحتوى على تجويفات تتحرك فيها آليات تشغيل الصمامات "التاكيهات" كما يوضح شكل (2-10). وفى المحركات المبردة بالماء تصنع رأس الاسطوانة لجميع الاسطوانات من كتلة واحدة تسبك من حديد الزهر الرمادى أو سبيكة ألومنيوم. وتقوم قنوات مياه التبريد

بتبريد غرف الاحتراق وأدلة الصمامات. أما فى محركات المبردة بالهواء فتصنع رؤوس اسطواناتها من سبائك الألومنيوم وتزود بزعانف تبريد لتحسين عملية انتقال الحرارة.



شكل (2-9): رأس الاسطوانات Cylinder head



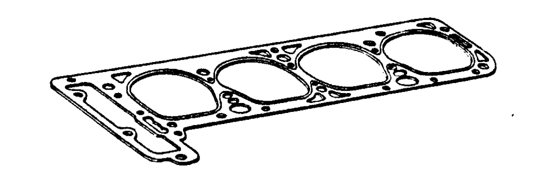
شكل (2-10): قطاع جانبى فى رأس الاسطوانات

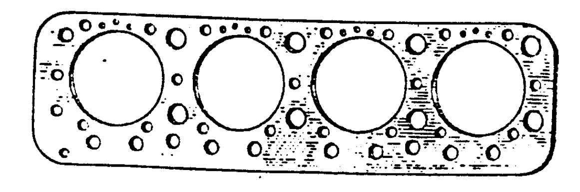
ويثبت رأس الاسطوانات بإحكام بكتلة الاسطوانات بواسطة مسامير ربط، ويجب أن تكون الوصلة بين رأس الاسطوانات وكتلة الاسطوانات محكمة وقادرة على تحمل الضغط والحرارة الناتجة من الاحتراق، لذلك يوضع جوان Gasket بينهما يعرف بجوان رأس الاسطوانات، وتصنع الجوانات من أنواع رقيقة من معدن طرى أو اسبستوس، وقد تكون من نحاس أو من لوحين رقيقين من النحاس بينهما اسبستوس أو من صلب مجعد.

ويحتوى الجوان على فتحات لتوافق جميع فتحات الماء والاسطوانات والصمامات وفتحات مسامير رأس الاسطوانات فى كتلة الاسطوانات والرأس ويوضح شكل (2-11) جوان رأس الاسطوانات، وعند وضع هذا الجوان فى مكانه بين الكتلة ورأس الاسطوانات وبالربط المحكم للمسامير نحصل على إحكام للوصلة بدرجة فعالة مما يؤدى إلى منع مياه التبريد من التسرب إلى غرف الاحتراق أو منع تسرب الغازات بين الاسطوانات . وقد يتلف هذا الجوان بتأثير الحرارة الزائدة على المحرك مما يؤدى إلى عواقب وخيمة وإتلاف كلى للمحرك.

جـ- علبة المرفق "علبة الكارتير" *Crank Case*

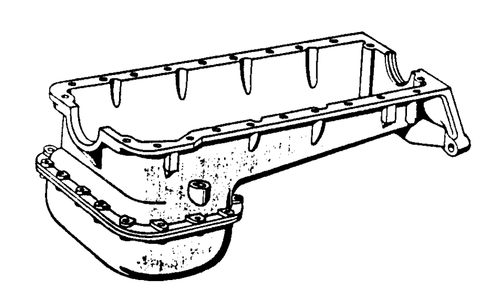
تصنع عادة علبة المرفق من الصلب المضغوط، وتثبت فى الجانب السفلى لكتلة الاسطوانات ويوضع جوان بينهما وتحتوى علبة المرفق على الزيت اللازم لتزييت المحرك ونظرا لضرورة تغيير هذا الزيت من حين لآخر فإن الحوض يزود بفتحة لتصريف الزيت توضع فى أسفل موضع فيه، كما توجد فتحة فى جدار علبة المرفق للتنفيس (التهوية) وتكون موصلة بعلبة فلتر الهواء بواسطة الخرطوم، وهذه الفتحة مهمة للتهوية وتفادى زيادة الضغط داخل علبة الكارتير بالإضافة إلى منع نواتج الاحتراق المتسربة إلى علبة المرفق من الوصول إلى الجو الخارجى. ويوضح شكل (2-12) نموذج لعلبة الكارتير.





شكل (2-11): نماذج جوان رأس الاسطوانات لمحرك رباعى

الاسطوانات ذات تبريد بالماء



شكل (2-12): علبة المرفق (علبة الكارتير) Crank cas

د - الكراسى الرئيسية *Bearing*

يطلق على الكراسى التى تحمل المرفق ويدور فيها اسم الكراسى الرئيسية، و يتركب كرسى المحور عادة من جزئين او نصفين يقع أحدهما أسفل الآخر فالنصف الأسفل يشكل فى كتلة الاسطوانات ويثبت معه النصف الآخر " الغطاء" بواسطة مسامير قلاووظ ويكون معظم التآكل فى النصف السفلى من الكراسى نظرا لأنه يتحمل بمفرده وزن عمود المرفق كما يقع عليه دفع المكبس.

ويوجد مع الكراسى لقم تعرف بلقم الكراسى وهو الجزء الملامس للمحور مباشرة وتصنع عادة من معدن ذى مقاومة احتكاك قليلة وتتحمل الضغوط الكبيرة والسرعة العالية والحرارة المرتفعة أثناء التشغيل وأفضل المعادن فى هذا الشأن هى البرونز الفوسفورى أو السبيكة البيضاء وتتحمل اللقم المصنوعة من البرونز الفوسفورى مدة طويلة بعكس اللقم المصنوعة من السبيكة البيضاء، إلا أن اللقم البرونزية تحتاج إلى كمية أكبر من زيت التزييت عنها فى اللقم المصنوعة من السبيكة البيضاء.

2-3- الأجزاء المتحركة (المجموعة المرفقية)

تقوم هذه المجموعة بتحويل حركة المكبس الترددية إلى حركة دورانية على عمود المرفق "الكرنك" وتتكون هذه المجموعة من: المكبس وذراع التوصيل وعمود المرفق والحدافة. وتعرف هذه المجموعة بمجموعة القدرة وهى المجموعة المسئولة على تحويل الحركة الترددية للمكابس إلى حركة دورانية لعمود الكرنك. ويوضح شكل (2-13) مجموعة القدرة

أ - المكبس *Piston*

المكبس العضوى الرئيسى فى المحرك، فعليه يقع عبء تحويل الطاقة الحرارية الناتجة من احتراق الوقود إلى طاقة ميكانيكية على شكل حركة ترددية كما ذكرنا من قبل ووظائف المكبس هى:

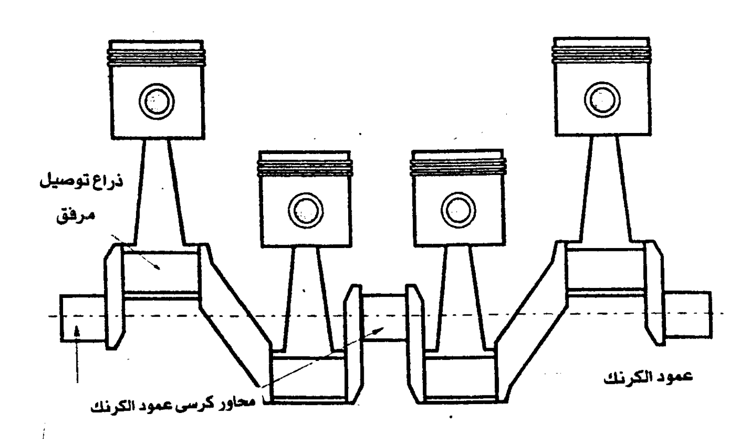
1- يعمل كمانع تسرب متحرك بين غرفة الاحتراق وعلبة المرفق.

2- يتلقى قوى ضغط غازات الاحتراق وينقلها إلى ذراع التوصيل.

3- توصيل الحرارة إلى جدار الاسطوانة وإلى زيت التزييت.

4- التحكم فى حركة الغازات فى اسطوانات محركات الثنائية.

يتوقف شكل مكابس محركات الاحتراق الداخلى على نوع الدورة الحرارية التى تعمل بها هذه المحركات، فمثلا فى محركات الديزل نجد عادة تجاويف فى رءوس المكابس لتشغل جزء من غرفة الاحتراق وكذلك لتعمل على سرعة خلط الهواء مع الوقود، وقد كانت المكابس تصنع فى البداية من الحديد الزهر الرمادى، وبمرور الوقت أصبحت هذه المادة غير مناسبة وحلت محلها الألومنيوم والسبائك الخفيفة.



شكل (2-13): مجموعة القدرة (عمود الكرنك – أذرع التوصيل – المكابس)

ويصب معظم المكابس المصنوعة من سبائك الألومنيوم فى قوالب ثم تبرد فجائياً. أما المحركات المعرضة لإجهاد عالية فتتم صناعة مكابسها بالكبس. وبذلك تكتسب متانة وصلابة عاليتين.

ولما كان الألومنيوم النقى لينا وذا مقاومة تآكل ضعيفة فإنه لا يصلح بمفرده لصناعة المكابس. ولذلك يجب اضافته فى سبيكة. وفيما يلى نورد أنواع سبائك الألومنيوم التى تستعمل فى صنع المكابس.

- **سبيكة من الألومنيوم والسليكون بنسبة حوالى 12٪ سليكون:**

وهذه السبيكة هى المستعملة عادة فى المكابس محركات رباعية الأشواط (بنزين) وهى سبيكة جيدة التشغيل. ويقلل السليكون من مقدار التمدد الحرارى كما يزيد من مقاومة التآكل.

- **سبيكة من الألومنيوم والسليكون بنسبة حوالى 18٪ سليكون:**

بسبب زيادة نسبة السليكون، يقل مقدار التمدد الحرارى بمقدار أكبر كما تزداد كل من مقاومتها للتآكل وصلادتها على الساخن. وتؤدى بلورات السليكون المنتشرة فى المادة إلى صعوبة تشغيلها. وتستعمل هذه السبيكة بصورة خاصة للمكابس المجهدة حرارياً بدرجة عالية، مثل مكابس محركات الديزل ومكابس المحركات ثنائية الشوط.

- **سبيكة من الألومنيوم والسليكون بنسبة حوالى 24٪ سليكون:**

وتتمتع هذه السبيكة بأقل مقدار تمدد حرارى ومقاومة تآكل عالية نتيجة لوجود نسبة عالية من السليكون فى السبيكة. وتعتبر هذه السبيكة أصعب السبائك فى تشغيلها وباستعمال هذه السبيكة يمكن عمل تصميمات بأقل خلوص ممكن بين المكبس وجدار الاسطوانة.

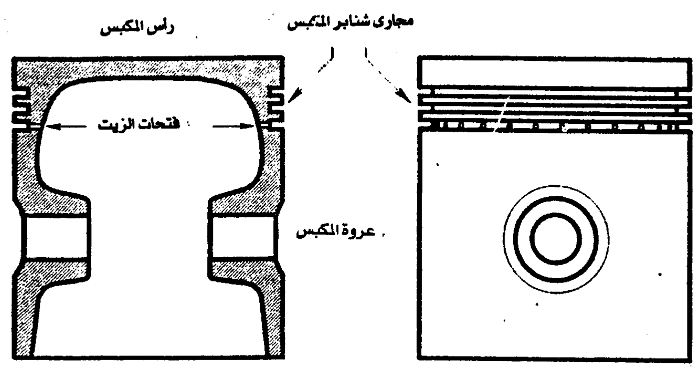
- **سبيكة من الألومنيوم والنحاس تحتوى على حوالى 4٪ نحاس و2٪ نيكل:**

تمتاز هذه السبيكة بمقاومتها العالية للإجهادات الحرارية وبسهولة تشغيلها ومن خواصها أن تمددها الحرارى مرتفع. ويؤدى هذا إلى ارتجاج المكبس عندما يدار المحرك فى الحالة الباردة. ولذلك يندر استعمال هذه السبيكة.

وأهم مزايا هذه السبائك خفة الوزن، وبالتالى تخفض أحمال القصور الذاتى إلى أقل ما يمكن وسهولة التنظيف مما يتراكم عليه من كربون وعدم تآكل الاسطوانة إذا ما تمدد نتيجة للحرارة وذلك نظرا لسرعة تخلصه من الحرارة، كما أن عمليات إنتاج المكابس المصنوعة من السبائك الخفيفة أبسط من عمليات المكابس المصنوعة من الحديد الزهر، وبالتالى فإنها أقل منها تكلفة إلا أنها تتمدد بسرعة مع ارتفاع درجة الحرارة مما يشكل خطراً على المحرك.

ويوضح شكل (2-14) قطاع لمكبس محرك والمكبس بشكل عام عبارة عن اسطوانة مجوفة ومقفلة من أعلى وقد تكون سطح المكبس مستوياً أو يأخذ أشكال متعددة تساعد على خلق دوامات داخل غرفة احتراق وتقليل حجم الخلوص لزيادة نسبة الانضغاط وقد تكون به تجويفات لإتاحة الحركة لرؤوس الصمامات كما أنه فى بعض الأحيان يتم قطع جزء من المكبس لتخفيف وزنه وإمكانية تركيب ذراع توصيل أقصر طولاً وأقل وزناً. ويحتوى جذع المكبس على ثقبان (عروتين لهما فتحتان لبنز المكبس) وفى بعض المكابس يزال جزء من جداره حول الفتحة حتى يكون هناك مجال لتمدد البنز. يطلى جذع المكبس بطبقة رقيقة من القصدير لنعومة السطح ووقاية الاسطوانة من الخدش، إلا أن الرصاص يستخدم حديثاً لطبقة واقية حيث يتميز بارتفاع درجة انصهاره والتى تبلغ 327°C بالمقارنة بدرجة انصهار القصدير والتى تبلغ 232°C وتعتبر طبقة الجرافيت بسمك 0,03mm أفضل أنواع الطبقات الواقية ونظراً للارتفاع النسبى لتكاليف طبقة الجرافيت فإنها تستعمل فقط فى محرك الديزل.

ويكون رأس المكبس (تاج المكبس) فى محركات البنزين (أوتو) رباعية الأشواط إما مستوياً أو محدباً بدرجة خفيفة. بينما تحدد طريقة الاحتراق هذا الشكل فى محركات الديزل. وتؤثر طريقة الكسح بدرجة كبيرة على شكل رأس المكبس فى المحركات ثنائية الشوط



شكل (2-14): قطاع لمكبس محرك

ويعتمد سمك جدار رأس المكبس على على مقدار ضغط الاحتراق ونوع المحرك أما ارتفاع منطقة الشنابر فيتوقف على عدد وأبعاد الشنابر ونوع المحرك. كما أن وظيفة جذع المكبس هى توجيه حركة المكبس داخل الاسطوانة ونقل القوى الجانبية إلى جدار الاسطوانة. وتتحكم الفتحات والنهاية السفلى لجذع المكبس فى سريان الغازات فى المحركات ثنائية الأشواط أما عروة بنز المكبس فتنتقل القوة المؤثرة على المكبس إلى ذراع التوصيل.

يؤثر على المكبس الاجهادات الآتية:

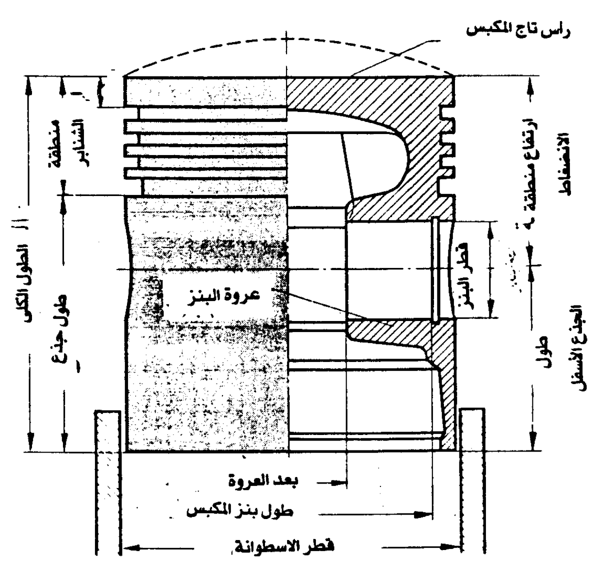
1- الضغط العالى فى سطح المكبس

2- درجة حرارة عالية (400°C فى مركز رأس المكبس)

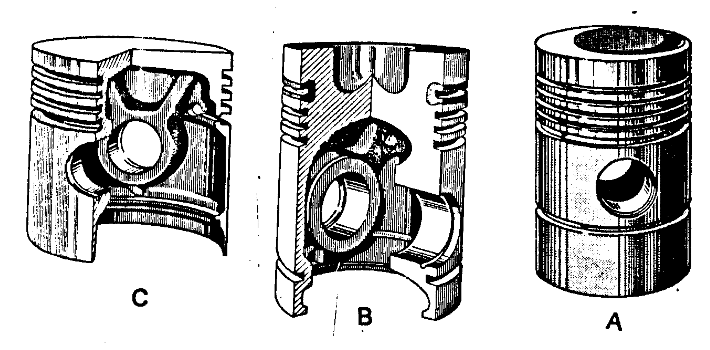
3- الاحتكاك

ويوضح شكل (2-15) الأجزاء والأبعاد الرئيسية للمكبس. كما يوضح شكل (2-16) نماذج للمكابس المستخدمة فى المحركات ويوضح النموذج (A) مكبس بجذع كامل (Solid – Skirt Piston) يناسب المحركات ذات الاجهادات الميكانيكية الحرارية العالية ويستخدم فى محركات الديزل. وكذلك المحركات ثنائية الأشواط، ويوضح النموذج (B) مكبس بحامل الشنابر (Piston with ring holder) يستخدم فى المحركات التى يتعرض فيها مجرى الشنبر العلوى لحمل حرارى عالى حيث يدعم هذا المجرى

بصب طبقة تقوية للشنبر العلوى من حديد الزهر الرمادى وبذلك يطول عمر المكبس وتستعمل هذه المكابس فى محركات الجرارات ومحركات الديزل المستخدمة فى تشغيل المركبات التى يتعرض محركها على اجهاد حرارى بدرجة كبيرة. ويوضح النموذج (C) مكبس ذو جذع رقيق الجدار يلائم شكل الاسطوانة ذاته عند ارتفاع درجة الحرارة.



شكل (2-15): الأجزاء والأبعاد الرئيسية للمكبس



شكل (2-16) نماذج للمكابس المستخدمة فى المحركات

خلوص المكبس Piston Clearance

يعرف خلوص المكبس بأنه المسافة بين المكبس والجدار الداخلى للاسطوانة ويجب أن يكون هذا الخلوص بدرجة كافية لضمان إنزلاق المكبس داخل الاسطوانة أثناء التشغيل وفى العادة يكون مقدار الخلوص يعادل 0,01 من قطر الاسطوانة وذلك فى حالة المكابس المصنوع من الزهر، أما المكابس المصنوعة من الألونيوم فيكون مقدار الخلوص الضعف نظرا لأن مقدار تمدد الألونيوم ضعف تمدد الزهر، وفى جميع الأحوال يجب ألا يقل الخلوص عن 0.025mm ولا يزيد عن 0.102mm ويلزم أن يكون مقدار الخلوص عند رأس المكبس أكبر مما بينهما عند أسفل وذلك نظرا لتعرض الرأس مباشرة للهب الغازات المشتعلة وتمدده بدرجة أكبر.

تتوقف درجة حرارة المكبس على طريقة تشغيل المحرك ونوع التبريد. وقد تصل درجة حرارة مركز رأس المكبس فى محركات الديزل إلى ما يفوق 400°C، بينما لا تتعدى 320°C فى محركات أوتو تبريد الهواء. وتتراوح درجة حرارة نهاية جذع المكبس بين 100°Cو 150°C وينشأ عن هذا الفرق الكبير فى درجات الحرارة اختلاف كبير فى مقدار التمدد الحرارى لرأس المكبس عنه لجذعه. كما يؤدى تجمع المعدن بقدر أكبر عند رأس المكبس إلى تمدد حرارى أكثر شدة فى اتجاه عرة بنز المكبس. نظراً لأن الاسطوانة تتمدد بدرجة أقل من تمدد المكبس بسبب انخفاض درجة حرارتها عن درجة حرارة المكبس وكذلك لاختلاف مادتها عن مادة المكبس، فلذلك يراعى تركيب المكبس بخلوص مناظر لفرق التمدد حتى يمكن تجنب إتلاف طبقة زيت التزييت ولكى يحتفظ بالخلوص اللازم للتركيب فى أضيق الحدود وأن يكون للمكبس خلوص واحد فى كل الأوضاع وعند كل ظروف التشغيل.

ويجب ألا يتلامس جذع المكبس مع جدار الاسطوانة فى أثناء التشغيل لذلك يجب المحافظة على مقدار هذا الخلوص، فإذا كان خلوص المكبس أقل من اللازم فقد يؤدى إلى إلتصاق المكبس فى داخل الاسطوانة نتيجة تمدد المكبس مع درجة الحرارة المتزايدة، وصعوبة مرور الزيت بين المكبس وجدران الاسطوانة وإذا كان الخلوص زائدا عن حده المسموح به سوف يؤدى إلى رجرجة المكبس عند عكس

حركته من أعلى إلى أسفل أو العكس، ويزيد احتمال حدوث لطمة المكبس نتيجة انحرافه ودورانه بقوة حول البنز عند تعرضه للضغط المفاجئ فى بداية شوط القدرة وتصطدم حافة المكبس بجدار الاسطوانة محدثة صوتاً مرتفعة ونقراً يؤدى فى النهاية إلى تلف المحرك. بالإضافة إلى تسرب الغازات إلى علبة المرفق وإنخفاض الضغط داخل الاسطوانة وبالتالى فقد فى قدرة المحرك، بالإضافة إلى زيادة استهلاك الزيت ولمعالجة تمدد المكابس المصنعة من الألومنيوم يمكن استخدام إحدى أو كل الطرق الآتية:

- يتم سبك أعصاب أو حلقات من الصلب داخل المكبس لمقاومة تمدده، حيث أن معدل تمدد الصلب مع ارتفاع درجة الحرارة أقل بكثير من تمدد الألومنيوم.
- يتم شق مجارى أفقية فى جسم المكبس لخفض انتقال الحرارة إلى الجزء السفلى منه، وبالتالى تقليل تمدده.
- يتم شق مجارى رأسية فى جسم المكبس لاستيعاب أى تمدد يحدث له. بحيث يظل قطره ثابتاً مع ارتفاع درجة الحرارة فعندما يتمدد المكبس تضيق هذه المجارى ويظل قطر المكبس ثابتاً.

ويوضح شكل (2-17) تصميمات مختلفة من المكابس المصنعة من الألومنيوم لمعالجة التمدد حيث يوضح النموذج (A) مكبس بشرط حلقى من الصلب. حيث يصب حلقة مقفلة ومسننة من الخارج من الفولاذ تحت مجرى شنبر الزيت مباشرة وتعمل الشريط على إعاقة تمدد المكبس.

ويوضح النموذج (B) مكبس بجذع كامل بشريط فولاذى ولا يوجد شق عرضى ويستعمل فى محركات أوتو ومحركات الديزل أيضاً.

ويوضح النموذج (C) مكبس بجذع كامل بشريط فولاذى ويوجد شق فى مجرى شنبر الزيت ويعمل هذا الشق على تقليل انتقال الحرارة من منطقة الشنابر إلى جذع المكبس.

ويوضح النموذج (D) مكبس يصب فى جذعه شريط مثقب – حيث يمكن عمل ثقوب خاصة تلائم مقدار تمدد المكبس مع توزيع درجة الحرارة فى جذعه.

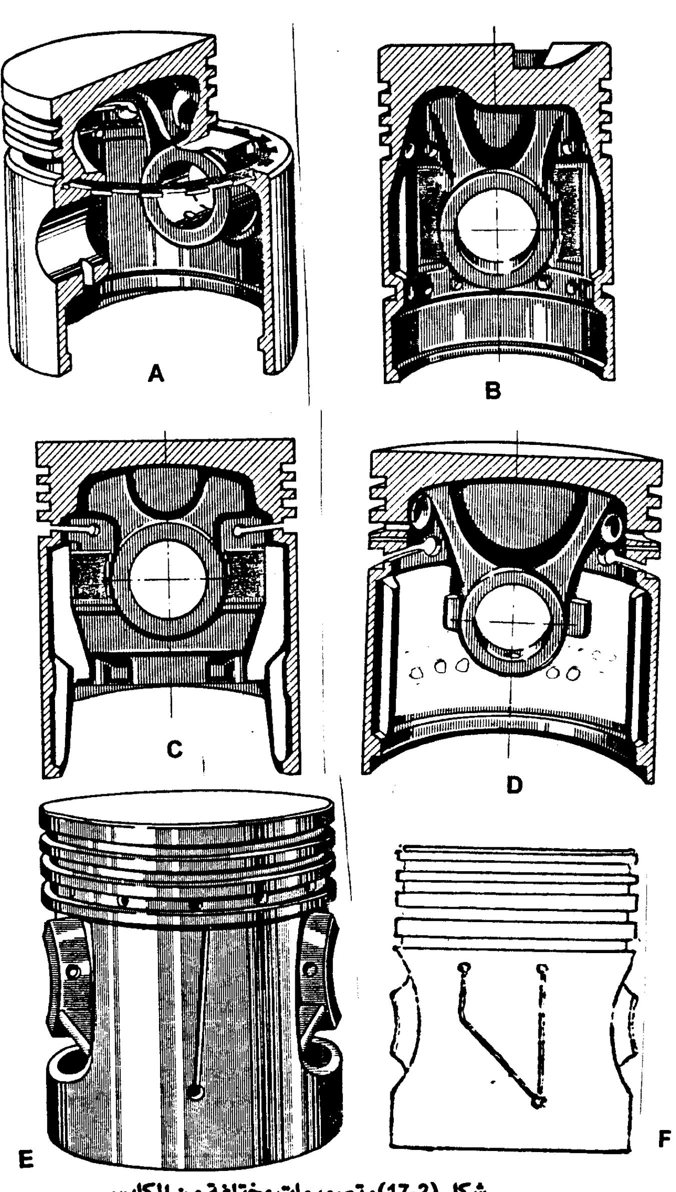
ويوضح النموذجين (E,F) المكابس ذات الجذع المشقوق (Split – skirt piston)، منها على شكل حرف T أو على شكل حرف U وفى هذه الأنواع لا يتغير الخلوص بين المكبس وجذر الاسطوانة إذا ما ارتفعت درجة حرارة المكبس وذلك لأن الشق الموجود بالجدار يسمح للمكبس بالتمدد دون زيادة فى قطر جذع المكبس، ولذلك لا يتغير مقدار الخلوص فى هذه الأنواع ويقل مقدار الخلوص اللازم عن الأنواع غير المشقوقة.

ويبين شكل (2-18) مثال لتوزيع الحرارة على سطح جدار المكبس أثناء التشغيل وذلك لمحرك ديزل وآخر بنزين ولنوعين من المكابس الأول مصنوع من الألمنيوم والثانى مصنوع من الحديد الزهر حيث يوجد أكثر من 100° درجة مئوية فرق بين أعلى وجذع المكبس. كما يلاحظ أن مستوى توزيع الحرارة لمحرك الديزل أعلى منها فى محرك البنزين كما إن مستوى توزيع الحرارة يكون أعلى فى المكابس المصنعة من الحديد الزهر عن تلك المصنعة من الألمنيوم.

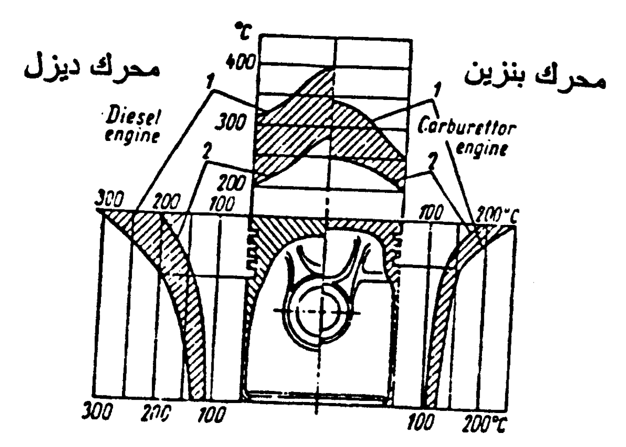
كما يوضح شكل (2-19) أيضاً مثال آخر لتوزيع الحرارة على مكبس من سبيكة الألومنيوم لكلا من محرك ديزل ومحرك بنزين ويوضح وتأثير كلا من نوع التبريد أو نظام الاحتراق على التوزيع.

ويتوقف تصميم المكبس وأبعاده على الحمل الميكانيكى والحمل الحرارى وشكل غرف الاحتراق وعدد الشنابر. ويلاحظ أن النسبة بين طول جذع المكبس إلى قطره لمحرك الديزل أكبر منها فى محرك البنزين، وهذا يرجع إلى:

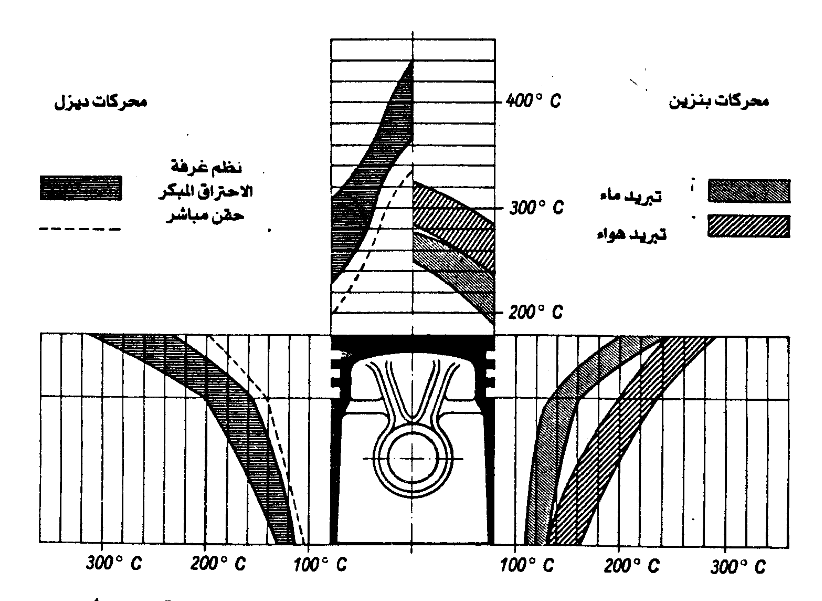
- عدد شنابر الضغط والزيت فى الديزل أكبر من البنزين.
- بعد أول مجرى عن سطح المكبس فى الديزل أكبر من البنزين.
- وقطر البنز فى الديزل أكبر من البنزين.



شكل (2-17): تصميمات مختلفة من المكابس



شكل (2-18): توزيع الحرارة على سطح جدران لمكبس لمحركين بنزين وديزل



شكل (2-19): توزيع الحرارة على لمكبس من سبيكة ألومنيوم تبريد هواء وتبريد مياه

مجارى الشنابر Ring Grooves

هى مجارى مقطوعة فى المكبس فى الجزء الأعلى منه ولبعض المكابس مجرى لشنبر يقع قرب النهاية السفلى، وتوضع داخل هذه المجارى شنابر المكبس.

شنابر (حلقات) المكبس Piston Rings

الغرض من الشنابر هو منع تسرب الشحنة أو الغازات من الاسطوانة إلى علبة المرفق من خلال الخلوص بين المكبس وجدران الاسطوانة وكذلك العمل على توزيع زيوت التزييت توزيعا تاما ومنتظما على جدران الاسطوانة وإعادته إلى علبة المرفق وأخيرا المساعدة على تبريد المكبس وذلك من خلال نقل الحرارة من المكبس الساخن إلى جدران الاسطوانة. وشنابر المكبس عبارة عن حلقات دائرية مشقوقة حتى لا يصعب تركيبها فى المكبس، حيث يمكن توسيعها قليلاً ثم ادخالها من رأس المكبس ويعرف شق الحلقة باسم ثغرة الشنبر Ring end clearance. كما أن القطر الخارجى للشنابر يكون أكبر قليلاً من قطر الاسطوانة عندما تكون خارجها.

ومعظم الشنابر تصنع من الزهر الرمادى المسبوك ذو خاصية المرونة وأحيانا من الصلب السبائكى، وكلا المعدنين قادر على تحمل درجات الحرارة التى تتعرض لها، ويحتفظان بنسبة كبيرة من مرونتها الأصلية بعد مدة طويلة من العمل، ويطلى سطح الشنابر العلوى بالكروم المسامى لغرض زيادة مقاومته للتآكل، وعند تركيب الشنابر داخل الاسطوانة يكون الشنبر مضغوطة ويكاد يلتصق طرفيها ولهذا السبب تكون الشنابر ملتصقة بقوة ضغط مرنة على جدران الاسطوانة فيزيد إحكامها فى منع التسرب، ويتراوح هذا الضغط بين 50 kPa إلى 100 kPa، ولا يجب أن يزيد ضغط الشنبر عن حد معين حتى لا تتآكل جدران الاسطوانة وكذلك يتآكل الشنبر نفسه وتحدث تسلخات فى الشنبر وفى سطح جدار الاسطوانة الداخلى.

ثغرة الشنبر Ring end clearance

ترتفع درجة حرارة الشنبر أثناء تشغيل المحرك لذا تترك مسافة عند طرفى الشنبر تسمح له بالتمدد تعرف هذه المسافة باسم ثغرة الشنبر أو نهاية الشنبر ويأخذ طرف الشنبر شكلاً معيناً يعمل على التقليل من تسرب الغازات ويبين شكل (2-20) ثلاث أنواع هى شنابر بثغرات مختلفة.

وفى محركات ثنائى المشاوير فتثبت الشنابر فى مجاريها بمسامير لتمنع دوران الشنبر وحتى لا تمسك ثغر الشنبر باحدى شقوق الاسطوانات عند مرور المكبس بها.

ويجب الا تكون ثغرات الشنبر شديدة الاتساع، ويجب ألا تركب جميع الشنابر بحيث تقع جميع ثغراتها فى خط عمودى واحد، وانما يجب تركيبها بحيث تكون ثغراتها متفرقة وموزعة على محيط المكبس، (شكل (2-21) وأثناء حركة المحرك تملئ الثغرات بزيت التزييت الذى يعمل على منع تسرب الغازات.

وصلة تقابلية (معتدلة)

وصلة تراكبية (مانعة للتسرب)

وصلة على زاوية 45° (مائلة)

شكل (2-20) أشكال ثغرة الشنبر



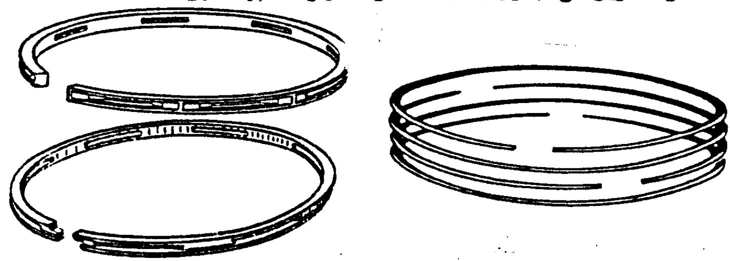
شكل (2-21) توزيع ثغرات الشنابر على محيط المكبس

أنواع الشنابر *Types of Rings*

يختلف عدد وأنواع الشنابر باختلاف نوع المحرك ومعظم المحركات ذات ثلاثة شنابر أو أكثر، وتنقسم الشنابر إلى نوعين، شنابر الانضغاط ومنها شنابر التحكم فى الزيت (كشط الزيت). ويوضح شكل (2-22) أنواع شنابر المكبس.

شنابر الانضغاط *Compression Rings*:

تركب فى الجزء العلوى من المكبس ويتراوح إعدادها من اثنين إلى أربعة، وتعمل هذه الشنابر على منع تسرب الشحنة فى شوط الانضغاط وغازات الاحتراق فى أثناء شوط القدرة من خلال خلوص المكبس كما أنها تساعد على تبريد المكبس بنقل أكبر جزء من حرارة المكبس إلى جدران الاسطوانة ويوجد تصميمات متعددة لشنابر الانضغاط. تصنع شنابر الانضغاط من الحديد الزهر ويتم تكسيتها بمواد طرية كالفوسفات والجرافيت وأكسيد الحديد. هذه المواد تتآكل بسرعة فى فترة تليين المحرك مما يساعد على وجود تألف وتطبيع جيد بين الشنابر وجدران الاسطوانة كما ان هذه المواد تمتص الزيت وتكون مواد طرية ملامسة لجدران الاسطوانة. ويوضح جدول (2-1) أسماء وأشكال ومقاطع شنابر الانضغاط.



Oil-control piston rings.

شكل (2-22): أنواع شنابر المكبس

جدول (2-1): أسماء وأشكال ومقاطع شنابر الانضغاط

شكل المقطع	الاسم	الخصائص
	شنبر ذات مقطع مستطيل (عادى)	التصميم النمطى
	شنبر مستدق (منحرف)	سريع الاستقرار (التليين) نظراً لضيق سطح تحميله ويتمتع بكفاءة عالية لمنع التسرب وكشط جيد للزيت.
	شنبر ذات مقطع مستطيل بشطف داخلى (مشطوف)	يميل سطح احتكاك (تحميل) الشنبر قليلاً فى الحالة المشدودة، مما ينتج عنه تثير مشابهة للنوع السابق
	شنبر ذات مقطع شبه منحرف	يحدث تغيير مستمر لخلوص المجرى، نتيجة لأى حركة فى الاتجاه القطرى لشنبر المكبس وبذلك يمنع تراكم الزيت المتفحم على حواف المجارى.
	شنبر ذات مقطع بقطع خارجى (ماسحة)	يؤدى صغر سطح الاحتكاك إلى تحسين كفاءة كل من منع التسرب وكشط الزيت.

شنابر التحكم فى الزيت *Oil Control Rings*

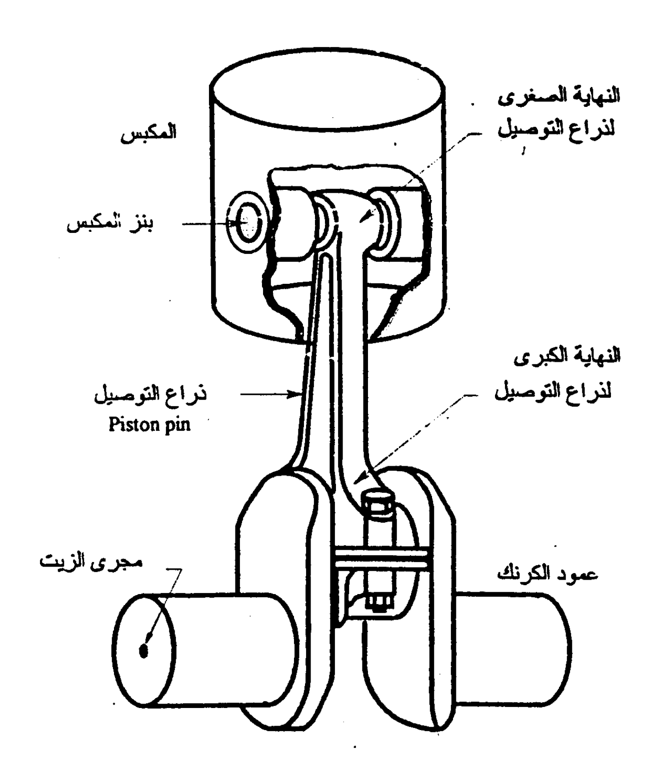
وشنبر الزيت يركب فى الجزء السفلى من المكبس، وشنبر الزيت بها ثقوب حيث يمر الزيت المكشوط من جدران الاسطوانة خلال هذه الثقوب، ومن خلال ثقوب توجد فى مجارى شنابر الزيت بالمكبس و يعاد الزيت مرة أخرى إلى علبة المرفق. وتعمل شنابر الزيت على ضبط كمية زيت التزييت على جدران الاسطوانة وإعادة الزائد منها إلى علبة المرفق، وذلك لمنع تسرب زيت التزييت إلى غرفة الاحتراق حيث يتضخم على جدران الغرفة وسطح المكبس ويكون طبقة رديئة التوصيل للحرارة فتقل كفاءة التبريد. ويوضح جدول (2-2) أسماء وأشكال ومقاطع لشنابر التحكم فى الزيت.

جدول (2-2): أسماء وأشكال ومقاطع شنابر التحكم فى الزيت

شكل المقطع	الاسم	الخصائص
	شنبر مشطوف	ذات كفاءة جيدة فى كشط الزيت، لا يكشط الزيت من سطح جدار الأسطوانة عند صعود المكبس
	شنبر ذات مجرى للزيت	تصميم عادى
	شنبر مشطوف الحواف ذات شق للزيت	يزداد ضغط تحميل الشنبر على سطح الأسطوانة بسبب صغر سطح التحميل فتزداد فعالية كشط الزيت
	شنبر زيت مجهز بياى	يعمل الياى على زيادة ضغط الشنبر على سطح تحميل الأسطوانة ويكون سمك الشنبر المصنوعة من حديد الزهر الرمادى صغير.
	شنبر زيت ذات مجرى ياى حلزونى	يضغط الياى الأنبوبى الشكل على حلقة الزيت الرقيقة ذات المجرى، ضد سطح تحميل الأسطوانة

بنز المكبس ***Piston Pin***

يوضح شكل (23-2) مجسم لمجموعة القدرة يبين طريق اتصال المكبس بعمود الكرنك عن طريق ذراع التوصيل ويظهر فى بنز المكبس. وبنز المكبس يصل المكبس بالنهاية الصغرى Small end لذراع التوصيل ويحمل البنز فى ثقبى المكبس ويمر داخل النهاية الصغرى لذراع التوصيل ويصنع البنز من الصلب السبائكى (صلب النيكل Nickel steel) نظرا لكونه أحد الأجزاء التى تتعرض لإجهادات شديدة للمحرك ويصلد سطحه ويجلخ ويصقل حتى يكون ناعم السطح ويقاوم التآكل ويصنع مجوفا كى يكون خفيف الوزن.



شكل (2-23) مجسم لجزء من مجموعة القدرة

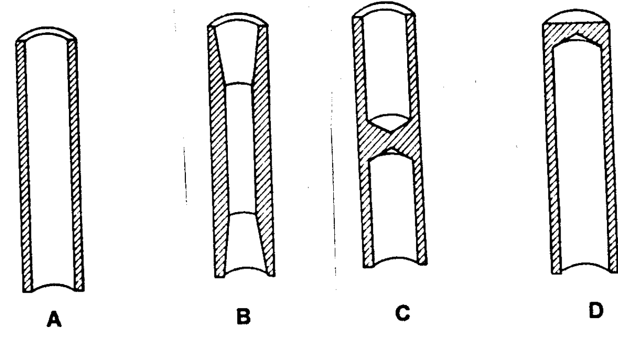
وهناك أشكال مختلفة لبنز المكبس (شكل 2-24)

١- بنز مكبس بثقب اسطوانى نافذ. (شكل 2-24 A)

٢- بنز مكبس بثقب نافذ ونهايتين مخروطتين (شكل 2-24 B)

٣- بنز مكبس بثقب مسدود فى الوسط. (شكل 2-24 C)

٤- بنز مكبس بثقب مسدود من طرف واحد. (شكل 2-24 D)

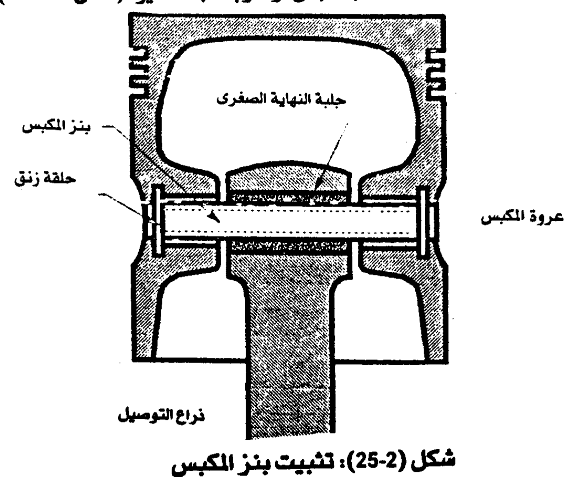


شكل (2-24): أشكال بنز المكبس

يمر بنز المكبس بفتحتى عروتى المكبس ويوجد حلقة زنق (جلبة) تمنع بنز المكبس من الحركة الجانبية (حفاظاً على جدران الاسطوانة من الخدش أثناء حركة المكبس) كما يوضح شكل (2-25)، وهناك ثلاث طرق لتركيب بنز المكبس:

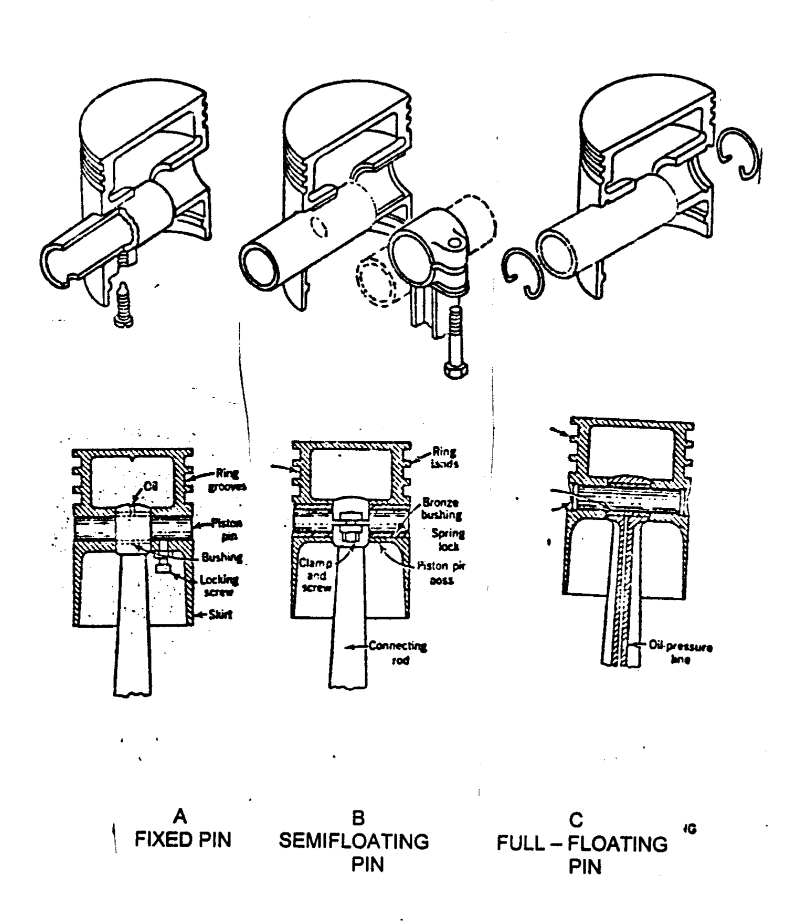
١- تركيبه بحيث يكون مثبتاً باحكام من نهايته فى تجويفه بالمكبس، وحر لينزلق فى النهاية الصغرى لذراع التوصيل (2-26 A).

٢- تركيبه بحيث يكون مثبتاً باحكام فى النهاية الصغرى لذراع التوصيل، وحر من نهايته فى تجويفه بالمكبس. وفى هذه الحالة يثبت البنز فى النهاية الصغرى لذراع التوصيل - أما بالكبس أو الربط بمسامير (شكل 2-26 B).



شكل (2-25): تثبيت بنز المكبس

٣- تركيبه بحيث يكون حر الحركة فى كل من تجويفى المكبس ونهاية ذراع التوصيل الصغرى. وفى هذه الحالة يعرف البنز باسم "البنز العائم" Fully – floating piston pin. ويجب منع البنز الكامل الطفو من الحركة الجانبية حتى لايتسبب فى إتلاف جدر الاسطوانة. ولذلك تستخدم حلقات الزق (شكل (C 26-2).



شكل (26-2): طرق تركيب بنز المكبس

ب- ذراع التوصيل Connecting Rod

هو الذراع الذى ينقل ضغط الغازات المؤثر على المكبس إلى عمود المرفق والحدافة ووظائفه:

1- توصيل المكبس بعمود الكرنك

2- نقل القوة من المكبس إلى عمود الكرنك

3- توليد عزم الدوران عمود الكرنك.

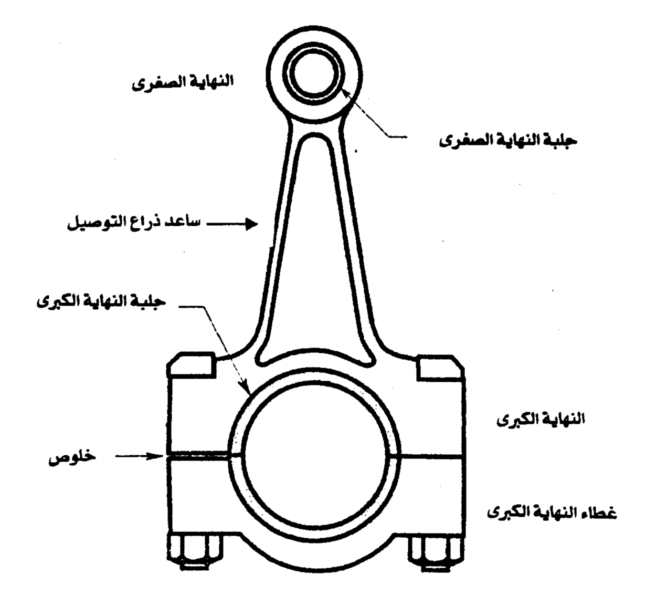
4- تتحول الحركة الترددية للمكبس إلى حركة دائرية على عمود المرفق.

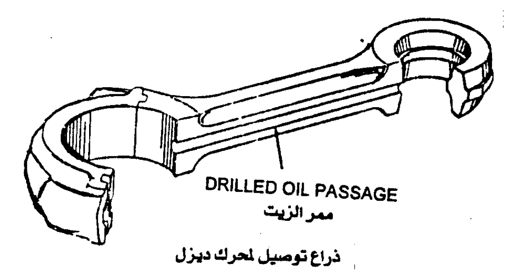
ويثبت ذراع التوصيل مفصليا فى بنز المكبس والمرفق ويوضح شكل (27-2) أجزاء ذراع التوصيل، ويلاحظ أن النهاية الصغرى لذراع التوصيل مقفلة وعلى ذلك تكون الجلبة بينها وبين بنز المكبس عبارة عن قطعة اسطوانية واحدة بينما تكون النهاية الكبرى Big end لذراع التوصيل على شكل نصف اسطوانة يكملها غطاء كما هو موضح بالشكل يعرف بغطاء النهاية الكبرى.

ويراعى فى صناعة ذراع التوصيل غاية الدقة والمتانة حتى يتحمل الدفعات القوية الناتجة عن عملية الإحتراق دون أن يتعرض للانحناء، ويتعرض ذراع التوصيل إلى مجموعة من الاجهادات تتمثل فى:

- اجهاد ضغط ينشأ عنه خطر انبعاج ذراع التوصيل بسبب القوة الكبيرة المؤثرة على المكبس وبسبب طول ذراع التوصيل.
- اجهاد شد وهو ينتج عن قوى القصور الذاتى على المكبس
- احتكاك فى الكرسى.

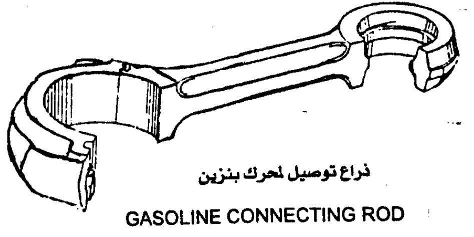
ويجب أن يكون ذراع التوصيل ذو مقاومة عالية لإجهاد الانبعاج واجهاد الشد وكذلك يجب أن يكون خفيف الوزن، كما يجب أن تتساوى أوزان كل أذرع التوصيل بالمحرك الواحد.





ذراع توصيل لمحرك ديزل

DIESEL CONNECTING ROD



ذراع توصيل لمحرك بنزين

GASOLINE CONNECTING ROD

شكل (2-27): أجزاء ذراع التوصيل

ويصنع ذراع التوصيل غالباً من سبائك الفولاذ المحتوية على الكروم والمغنسيوم والسليكون ويشكل بواسطة الحداده بالمطرقه ثم يتبع ذلك تشغيله على الماكينات ويشكل مقطع ساعد ذراع التوصيل Connecting rod shank على شكل حرف I أو H ، ويعتبر مقطع I ذو مقاومة عالية وكما يسمح بتدرج انتقال مناسب للمساعد إلى كل من النهايتين الصغرى والكبرى لذراع التوصيل. ويجب الإشارة إلى أن النهاية الكبرى لذراع التوصيل فى المحركات الثنائية لا تنقسم إلى جزئين بل تكون قطعة واحدة رولمان بلى.

ونظراً لتعرض الجلبة إلى ضغوط كبيرة وإجهادات ضخمة كما أنها تعمل فى ظروف قياسية ودرجات حرارة مرتفعة... وعلى ذلك فهى تصنع من سبيكة البرونز أو الصلب يدخل فى تكوينها مواد طرية كالنحاس والقصدير والرصاص وغيرهم لذلك يطلق عليها الفينون "سبيكة" وتتميز هذه السبيكة بالآتى:

- القدرة على التشكيل لكى تأخذ شكل عمود الكرنك وتتوافق معه تماماً
- مقاومة التآكل والتفاعل الكيميائى، بحيث يكون معدل تآكلها مناسبا لعمر المحرك.
- مقاومة احتكاك قليلة وقادرة على تحمل الأحمال العالية.

وتصنع اللقم من نصفين أحدهما مع الذراع والأخرى مع الغطاء ويجب أن تكون اللقم مناسبة وموافقة تماما لتجويف نهاية الذراع وللحصول على هذه النتيجة توضع اللقم بحيث تكون أكبر فى القطر بمقدار يتراوح ما بين 0.025mm إلى 0.05mm عن قطر التجويف فعند تركيبها وربط الغطاء يكون هناك خلوص بين الغطاء والذراع وهذا الخلوص يجب كبسه بربط الصواميل بشدة حتى تكون اللقم ملاصقة تماماً لتجويف النهاية الكبرى، وهذا يعمل على سهولة وسرعة تسرب الحرارة من اللقم إلى جسم الذراع فيساعد ذلك على تبريدها باستمرار ويجب أن يكون هناك خلوص بين البنز المرفق والسطح الداخلى للقم مقداره 0.01mm لكل سنتيمتر من قطر البنز لغرض التزييت كما يجب أن يكون هناك خلوص جانبى

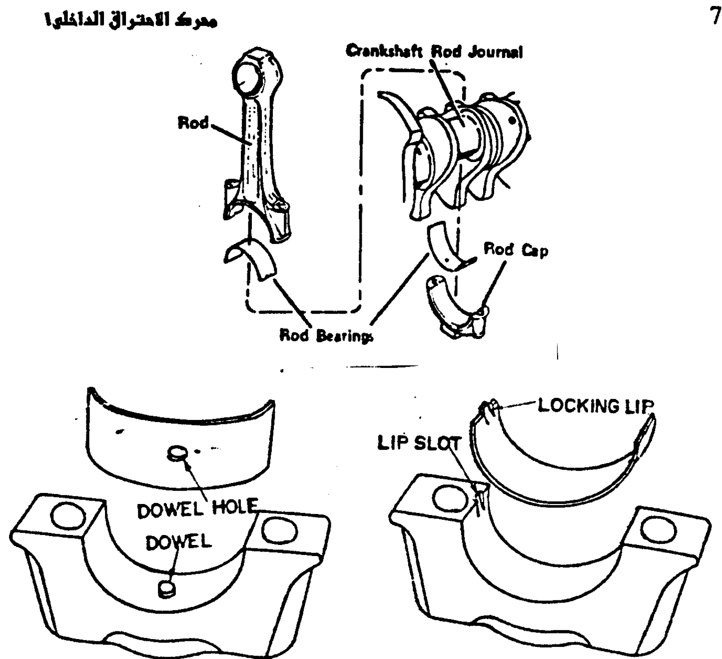
يتراوح بين 0.01mm إلى 0.25mm حتى لا تحتك اللقم بالجوانب عند تمددها بفعل الحرارة.

ومن الأهمية بمكان التركيب الصحيح لذراع التوصيل فى عمود المرفق لضمان التشغيل الصحيح للمحرك. فيجب أن يكون محورى بنز المكبس والمرفق متوازيين تماماً. وإذا أغفل ذلك عند التجميع فإن مساحة تحميل سبيكة ذراع التوصيل لا تتلامس مع بنز المرفق إلا فى جانب واحد منه ومن ثم فإن السبيكة تتلف بسرعة.

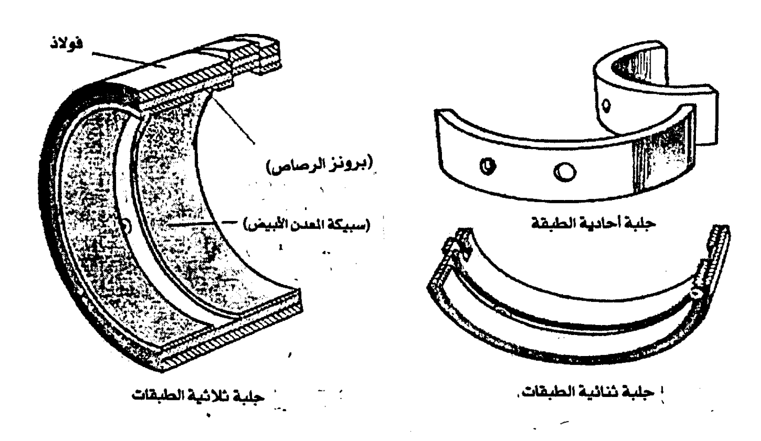
ويوضح شكل (2-28) كيفية تثبيت سبيكة بنز المرفق حيث يلاحظ وجود تجويف صغيرة فى طرف نصف الجلبة يقابله بروز مماثل بالغطاء لضمان التركيب الصحيح وعدم حدوث انزلاق. أو قد يكون ثقب فى السبيكة يقابله بروز فى غطاء النهاية الكبرى. وهناك عدة تصميمات لجلب النهاية الكبرى لذراع التوصيل كما يوضح شكل (2-29) حيث تكون احادية الطبقة أو مصمت الجذر شكل (2-29 A) ويتميز هذا النوع التوصيل الجيد للحرارة وخواص انزلاق جيدة ويصلح هذا النوع فى الأحمال الخفيف أما تكون الجلب من النوع ثنائية الطبقات أو ثنائى المعدن شكل (2-29 B) وفيه تصب طبقة من البرونز أو أى معدن خفيف ثم توضع قشرة تدعيم من الفولاذ. أما النوع الثالث فيعرف ثلاثى الطبقات حيث يتكون من طبقة البرونز أو أى معدن خفيف ثم قشرة الفولاذ ثم ترسب طبقة تحميل من المعدن الأبيض كهربائياً.

فى محركات الديزل تكون النهاية الكبرى مائل (شكل 2-30) على ذراع التوصيل حتى يمكن سحب ذراع التوصيل إلى أعلى من خلال الاسطوانة عند فكه.

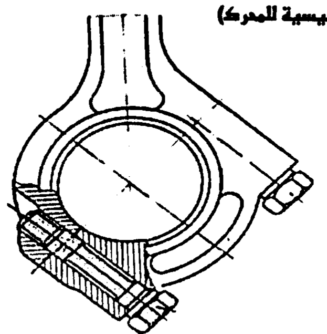
ويتم تزييت كل من نهايتى ذراع التوصيل بواسطة دفع الزيت خلال قنوات فى عمود المرفق إلى النهاية الكبرى لذراع التوصيل. ثم من خلال ثقب نافذ بطول ذراع التوصيل إلى النهاية الصغرى له وأحياناً قد يتم رش زيت التزييت على الجدار الداخلى للاسطوانة من خلال ثقب آخر بالنهاية الكبرى لذراع التوصيل وذلك اثناء حركة المكبس إلى أعلى، كما يوضح شكل (2-31).



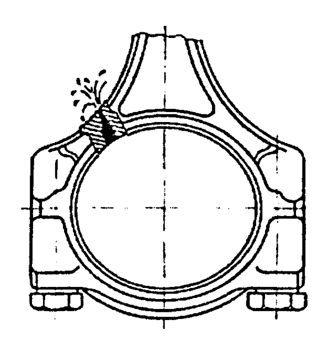
شكل (2-28): كيفية تثبيت سبيكة النهاية الكبرى لذر



شكل (2-29): أنواع جلب (سبيكة) ذراع التوصيل



شكل (2-30): النهاية الكبرى المائلة لذراع التوصيل



شكل (2-31): ثقب تزييت فى النهاية الكبرى لذراع التوصيل

جـ- عمود المرفق (عمود الكرنك) *Crank Shaft*

وظيفة عمود الكرنك هى:

1- توليد حركة دورانية

2- توليد عزم الدوران ونقله إلى الحدافة ثم القابض.

3- تلقى القوى المؤثرة على المكابس ونقلها إلى الكراسى.

4- تثبيت الحدافة التى تستعمل كمبيت للقابض

5- إدارة تروس التحكم (ترس عمود الكرنك – ترس عمود الكامات) ومضخة ماء التبريد والمولد الكهربائى والمروحة ومضخة الحقن وخلافه.

ويتعرض عمود الكرنك إلى الاجهادات الآتية (شكل 2-32)

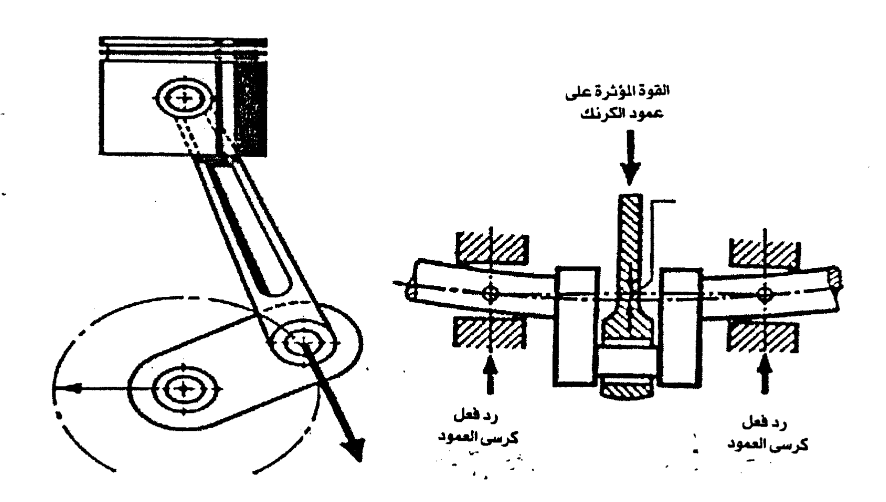
1- اجهاد اللى ويتوقف على قطر عمود الكرنك والبعد بين الكراسى.

2- اجهاد الالتواء وتعتبر زاوية الالتواء على كل من طول عمود الكرنك وقطره

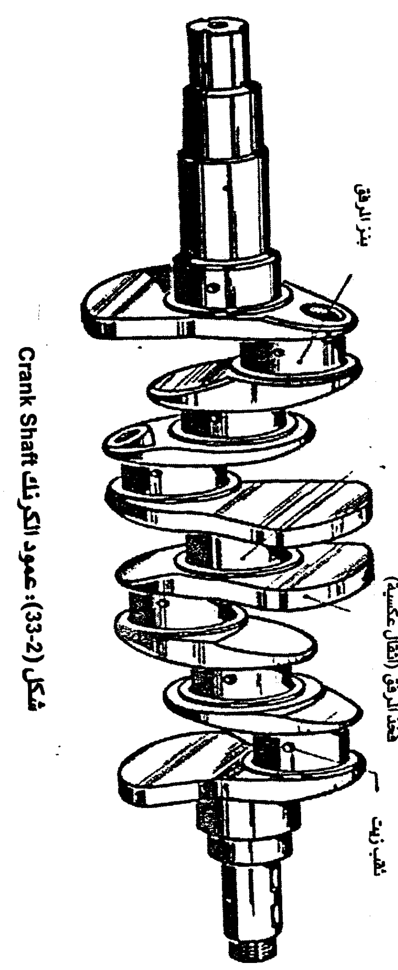
3- الاهتزاز الالتوائى ويتوقف على المادة المصنع منها عمود الكرنك وطوله وقطره (شكل 2-32)

4- الاحتكاك فى موانع الكراسى.

لذلك يجب أن يتوافر فى عمود الكرنك مقاومة للى والالتواء والتآكل وذو خواص انزلاق جيدة. يصنع عمود المرفق (شكل 2-33) من الصلب النيكلى الكرومى أو الصلب المصبوب أو الصلب المطروق. مع تقوية السطح الخارجى بحيث يكون ذى مقاومة ميكانيكية عالية. ويصنع عمود الكرنك من الفولاذ أو من حديد الزهر. وللحصول على مقاومة الاجهادات يستعمل غالباً فولاذ سبائكى. وتصلد أعمدة والمرفق وتطبع حرارياً أو تصلد أسطح مواضع الكراسى ثم تجلخ على أبعادها النهائية.

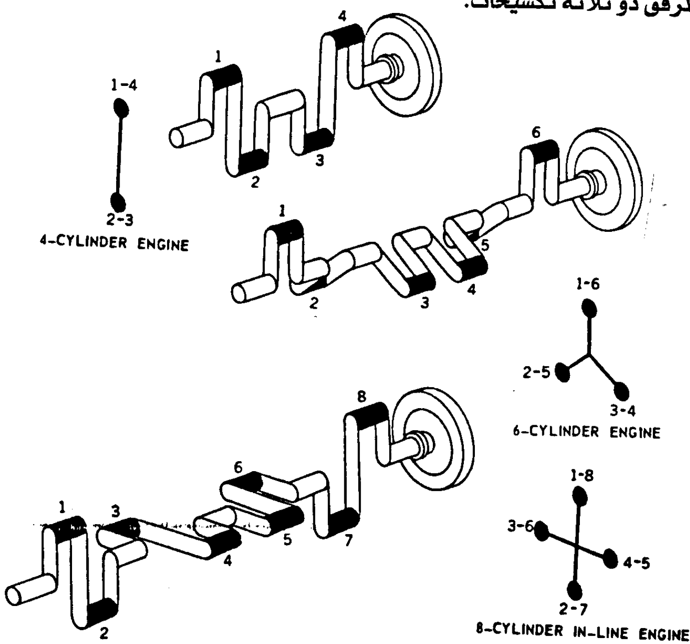


شكل (2-32): الاجهادات المؤثرة على عمود الكرنك



شكل (2-33): عمود الكرنك Crank Shaft

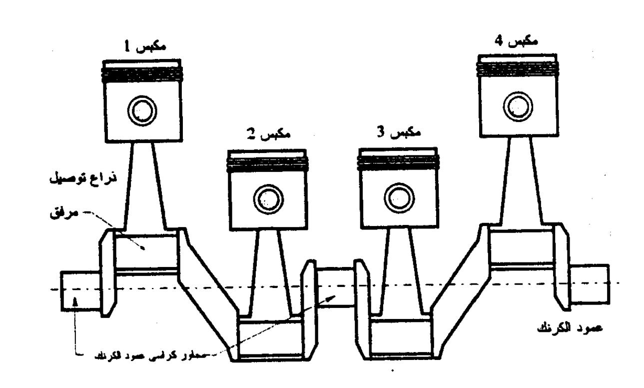
ويتوقف شكل عمود المرفق على عدد الاسطوانات للمحرك وترتيبها وعدد الكراسى وترتيب الاشتعال، ويتحدد طول عمود الكرنك تبعاً لترتيب الاسطوانات وتتميز اعمدة الكرنك لمحركات حرف V والاسطوانات المتقابلة بقصرها وخفة وزنها عن تلك الخاصة بالمحركات المستقيمة، ويوضح شكل (2-34) أنواع التكسيحات لعمود الكرنك فقد يكون ذا تكسيحة واحدة وذلك إذا كان المحرك ذا اسطوانة واحدة ويعيبه أنه غير متزن بسبب الذبذبه الناشئة عن القوة الناتجة عن دوران الفخذين والبنز ووجودها فى جهة واحدة ولتلافى ذلك توضع فى الجهة العكسية للبنز أثقال توازن. أو عمود مرفق ذو تكسيحتين الزاوية بينهما ١٨٠ ونظراً لوجود تكسيحة فى اتجاه معاكس يكون المحرك اكثر اتزاناً. ويستخدم هذا النوع فى المحركات ذو الإسطوانتين أو أربع اسطوانات. أما عمود الكرنك ذو أربع تكسيحات فيستخدم مع المحرك ذو ٨ اسطوانات أما إذا كان المحرك ثلاث اسطوانات أو ست اسطوانات فيكون عمود المرفق ذو ثلاثة تكسيحات.



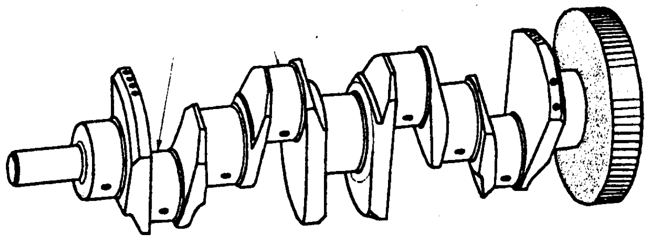
شكل (2-34): أنواع التكسيحات لعمود الكرنك

وعمود الكرنك فى المحرك ذات الأربعة الاسطوانات شكل (2-35) يرتكز على ثلاثة كراسى تقع فى الجزء السفلى من كتلة الاسطوانات ويلاحظ أنها مرحلة بحيث يتحرك المكبسين رقم 4,1 عكس اتجاه المكبسين 3,2.

ويتعرض عمود الكرنك عند دوران المحرك إلى اهتزازات ضخمة بسبب قوى الطرد المركزى للمرفق أثناء الدوران وللحفاظ على توازن عمود الكرنك توجد أثقال توازن محسوبة بعناية فى وضع مضاد لكل مرفق كما هو موضح بشكل (2-36) بحيث تكون قوة الطرد المركزية المتولدة على كل ثقل مساوية تماماً لتلك المتولدة على المرفق المناظر ومضادة لها فى الاتجاه أى أن محصلة القوتين تكون صفراً وبالتالى يحدث اتزان لعمود الكرنك أثناء دورانه.



شكل (2-35): عمود الكرنك لمحرك أربعة اسطوانات



شكل (2-36): أثقال التوازن لعمود الكرنك

ويركب عمود المرفق فى علبة المرفق على كراسى رئيسية وفى بعض الحالات يكون بنز المرفق مجوفاً حتى يخف وزنه. وبذلك يزيد عزم الدوران على عمود المرفق. ويوضح الشكل (2-37) كيفية موازنة عمود الكرنك Crankshaft Balancing وهو فى حالة السكون. فإذا ظل العمود المرفقى فى حالة سكون فى أى اتجاه وضع له فإنه يكون فى هذه الحالة موازياً موازناً استاتيكياً. ويجب عدم الاكتفاء باتزان الأعمدة المرفقية وهى فى حالة سكون وإنما ينبغى أن تكون متزنة كذلك أثناء دورانها متسببة فى عملية انتظام أو سلامة دوران المحرك فضلاً على التقليل من قدرته. وتعرف عملية موازية العمود المرفقى وهى فى حالة الدوران باسم الموازنة الديناميكية.

ويسرى زيت التزييت بصفة مستمرة خلال قنوات فى عمود المرفق إلى الكراسى المزودة بتجاويف للزيت، ويعمل الزيت الموجود فى هذه التجاويف على تكوين طبقة رقيقة على جدران الكراسى، كما أنه يقوم بتوصيل الزيت من هذه الكراسى إلى النهاية الكبرى لذراع التوصيل ومنها إلى النهاية الصغرى للذراع.

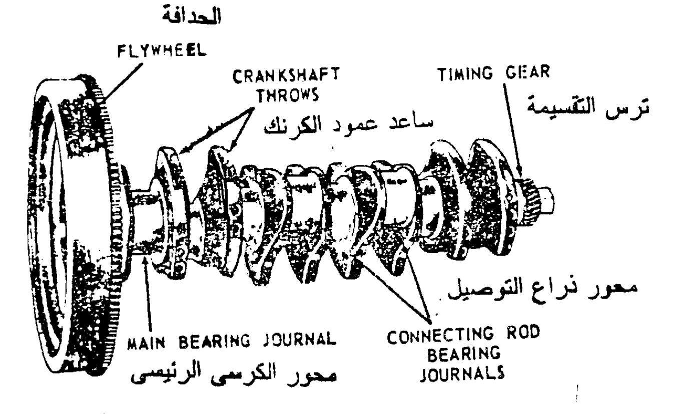
ويثبت فى النهاية الخلفية لعمود المرفق الحدافة، أما فى النهاية الأمامية له فيوجد تروس التوقيت وكذلك طارة ذات مجرى يركب فيها سير لإدارة مروحة تبريد المحرك ومضخة الماء وكذلك المولد الكهربائى، وتعرف بطنبورة عمود الكرنك وقد يوجد مجرى إضافى فى الطارة تستخدم فى إدارة المضخة الخاصة بالتوجيه الهيدروليكى فى بعض المركبات، وقد يوجد أيضا مجرى آخر لسير إدارة الضاغط فى السيارات المزودة بتكييف الهواء.

شكل (2-37): موازنة عمود الكرنك وهو فى حالة سكون

د - الحدافة Flywheel

الحدافة عبارة عن عجلة من الصلب ثقيلة إلى حد ما، تتصل بالنهاية الخلفية لعمود الكرنك أى النهاية القريبة من صندوق تغيير السرعات. وتصنع الحدافة من الفولاذ أو من حديد الزهر الرمادى وتعمل الحدافة على اختزان كمية من طاقة الحركة التى تكتسبها فى شوط التشغيل، وإعطاء جزء من هذه الطاقة إلى باقى الأشواط (السحب - الضغط - العادم) ومن ثم فإنها تكفل الدوران المستمر للمحرك، وتعمل الحدافة أيضا على تنظيم السرعة، فإذا زادت قدرة المحرك عن القدرة المطلوبة فإن القدرة الزائدة تعمل على زيادة سرعة المحرك بمقدار يتوقف على مقدار القصور الذاتى للحدافة والأجزاء الأخرى ذات الحركة الدورانية وذلك لأن القدرة الزائدة على الحاجة تتحول إلى طاقة حركية للأجزاء الدورانية، وبالمثل عندما يزيد الحمل عن القدرة المتولدة من المحرك، فإن الأجزاء الدورانية تعطى طاقة حركية أثناء هبوط سرعتها. وفى كلتا الحالتين تعمل الحدافة على تخفيض مقدار التغير فى السرعة، وتتناسب الطاقة الحركية للأجزاء التى تتحرك بحركة دورانية مع مقدار قصورها الذاتى وكذلك مع مربع سرعتها الدورانية، وكلما كبر وزن الحدافة وزاد قطرها زاد مقدار قصورها الذاتى، وعلى ذلك فالحدافة الكبيرة سوف تمتص المقدار الزائد (فى صورة طاقة حركية لها) مع زيادة بسيطة فى سرعتها عن حدافة صغيرة وإذا كان هناك عجز فى قدرة المحرك فسوف يكون هناك هبوط أقل فى السرعة وبمعنى آخر فإن الحدافة الكبيرة تعمل على ثبات سرعة المحرك.

وكلما زاد عدد الاسطوانات كلما أمكن تقليل كتلة الحدافة بمعنى أن كتلة الحدافة تتناسب عكسيا مع عدد الاسطوانات، ويوجد على المحيط الخارجى للحدافة أسنان تعرف باسم ترس الحدافة، Fly wheel (ترس الفولان) ويعشق هذا الترس مع ترس البندكس المركب على محور المارش، كما يستخدم الوجه الخلفى للحدافة كعضو إدارة للقابض *Clutch*. كما يحدد على الحدافة علامات ضبط الصمامات وضبط الاشتعال (توقيت فتح وغلق الصمامات والاشتعال) ويوضح شكل (2-38) نموذج لحدافة عمود الكرنك.



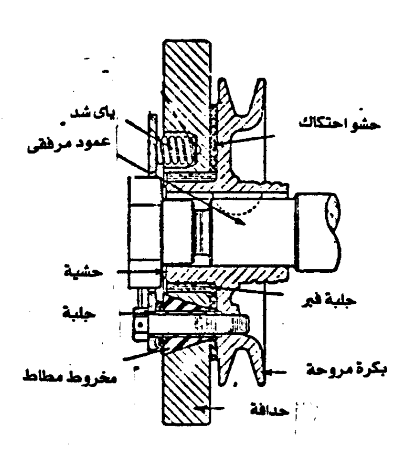
شكل (2-38): نموذج لحدافة عمود الكرنك

كاتم الاهتزازات Vibration Damper

ويلاحظ أنه أثناء تحرك المكبس إلى أسفل فى شوط التشغيل يعطى قوة هائلة إلى عمود الكرنك المتصل به خلال ذراع التوصيل وتعمل هذه القوة على لى عمود الكرنك، وفى الواقع يلتوى العمود قليلاً. وعند وصوله لنهاية شوط التشغيل، يضف الدفع على المرفق حتى أن العمود لكونه ملتوياً يحاول الرجوع إلى شكله الأصلى ويلتوى قليلاً فى الاتجاه المضاد. وحينئذ يعود العمود مرة أخرى إلى الاتجاه الآخر. وهذا ينشئ حركة تذبذبية تتكرر كل شوط تشغيل. فإذا لم يتحكم فى هذا الاهتزاز الالتوائى فسوف تستمر دفعات القدرة المتتابعة فى زيادة الذبذبات الأصلية للعمود، حتى أنه عند سرعات معينة قد ينكسر العمود بالالتواء الفائق الذى يتعرض له. وللتحكم فى هذا الاهتزاز الالتوائى يستعمل مانع الاهتزازات والموازنات الالتوائية أو معادلات دفع عزم دوران العمود المرفقى. وتركب هذه عادة فى النهاية الأمامية لعمود الكرنك. مع اتصال بكرة سير المروحة بها.

وتتكون كاتم الاهتزازات (شكل 2-39) من حدافة المانع المركبة على بكرة سير المروحة بمخروطات من المطاط ويدير عمود الكرنك بكرة سير المروحة وبالتالى تدور حدافة المانع. وتحاول حدافة مانع الاهتزازات حفظ سرعة ثابتة

وتضائل تذبذبات عمود الكرنك بفرض مقاومة خلال مخروطات المطاط وأوجه الاحتكاك عندما يحاول عمود الكرنك ان يتذبذب. فمثلاً إذا كان أحد أجزاء عمود الكرنك ملتوياً فى اتجاه أمامى بسبب الاهتزازات الألتوائية، فأنه يكون حينئذ متحركاً أسرع من مانع الاهتزاز (وبقية عمود الكرنك). فيفرض مانع الاهتزاز مقاومة تعترض هذا الاسراع. وعلى العكس، إذا كان عمود الكرنك يتخلص من الألتواء، تدور النهاية حينئذ أبطأ من بقية عمود الكرنك. وهنا يفرض مانع الاهتزاز حركته الأسرع (يميل للدوران بانتظام) ولذا يعارض سرعة نهاية عمود الكرنك للإبطاء ولاحظ ان الألتواء (أو الاهتزازات الألتوائية) عمود الكرنك تكون مقدارها متناهية فى الصغر، ومع ذلك فأنه بدون أن يفرض عليها بعض المقاومة قد تتكون الاهتزازات الالتوائية تحت ظروف معينة بدرجة كافية، فتسبب الكسر لعمود الكرنك. أو على الأقل سيسبب ذلك خشونة دوران المحرك ما لم يقاوم بموانع اهتزازات من أى نوع كان.



شكل (2-39): كاتم الاهتزازات *Vibratian Damper*

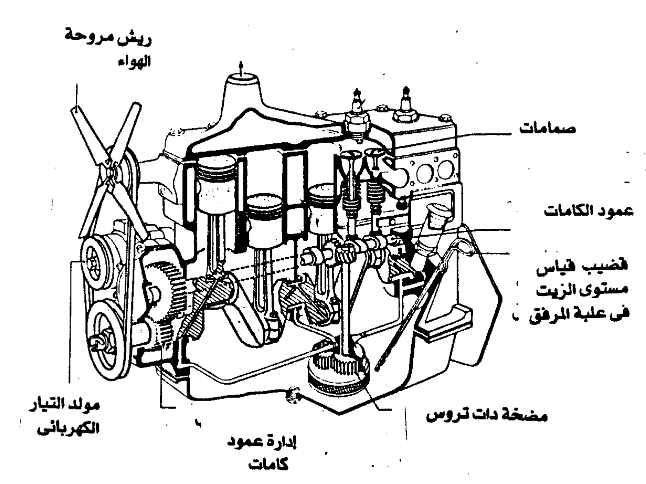
٢-٣- مجموعة توقيت حركة الصمامات

وظيفة مجموعة توقيت حركة الصمامات هى السماح لشحنة السحب بالدخول إلى اسطوانة المحرك وكذلك السماح لغازات العادم بالخروج منها فى التوقيت الصحيح. تشتمل مجموعة توقيت حركة الصمامات على الأجزاء التالية: الكامات وعمود الكامات والصمامات وياياتها والأذرع المتأرجحة وأذرع الدفع وروافع التاكيهات. ولا تستخدم مجموعة توقيت حركة المحركات الثنائية الأشواط فيتم بواسطة فتح وغلق فتحات بجدران الاسطوانات.

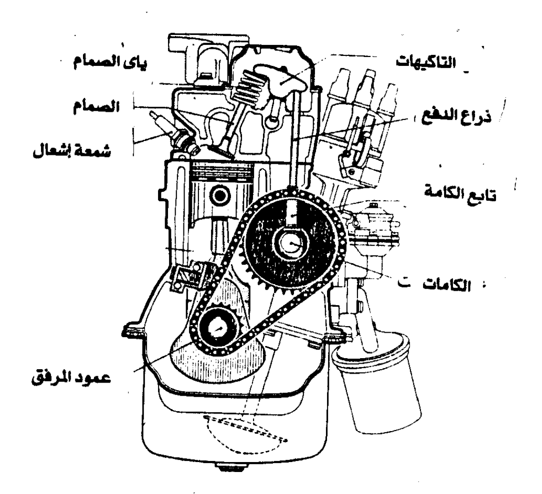
هناك نوعين من أنواع التحكم فى الصمامات، يتحدد كل منهما من خلال ترتيب الصمامات:

- صمامات ذات تحكم سفلى (شكل 2-40) وهذا النوع قل استعماله فى المحركات الحديثة.
- صمامات ذات تحكم علوى (شكل 2-41) ويستعمل هذا النوع فى المحركات الحديثة.

وفى هذه الحالة يمكن أن يقع عمود الكامات إلى أعلى، فوق رأس الأسطوانات أو إلى أسفل، فى علبة المرفق.



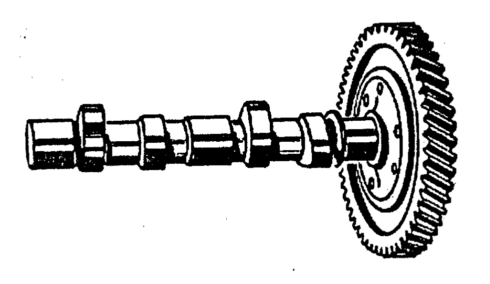
شكل (2-40): محرك بصمامات ذات تحكم سفلى



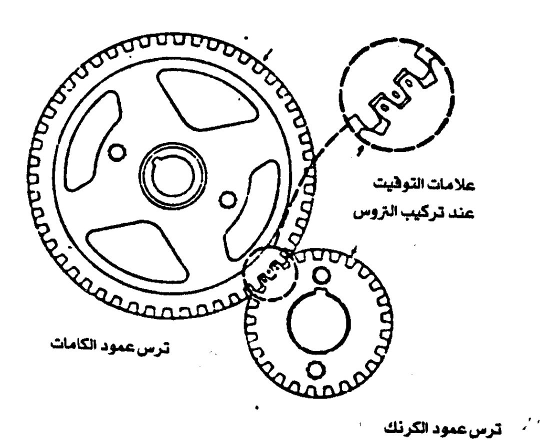
شكل (2-41): محرك بصمامات ذات تحكم علوى

أ - عمود الكامات *Camshaft*

يوضح شكل (2-42) عمود الكامات وظائف هى فتح الصمامات بالارتفاع المناسب وفى التوقيت الصحيح وكذلك ضبط عملية غلق الصمامات. ويفتح ويقفل صماما السحب والعادم بواسطة الكامات الموجودة على عمود الكامات، ويوجد على عمود الكامات كامة لكل صمام، أى أن هناك كامتين لكل اسطوانة، وبالإضافة إلى ذلك يوجد على الكامات ترس لإدارة مضخة الوقود وترس آخر لإدارة موزع الإشارة وطلمبة زيت التزييت، ويأخذ عمود الكامات حركته من عمود المرفق، إما بواسطة ترسين أو بواسطة عجلات مسننة وجنزير ويحتوى الترس أو العجلة المسننة المركبة على عمود الكامات على عدد من الأسنان ضعف عدد الأسنان الموجودة على عمود المرفق (شكل 2-43) أى أن عمود الكامات يدور بسرعة تساوى نصف سرعة عمود المرفق، وعليه فكل لفتين من لفات عمود المرفق يقابلهما لفة واحدة لعمود الكامات. ويرتكز عمود الكامات على كراسى موجودة فى الجزء السفلى من جسم الاسطوانة وذلك فى المحركات ذات الاسطوانات المرتبة فى صف واحد، أما فى المحركات على شكل حرف V فإن عمود الكامات يوجد بين صفى الاسطوانات.



شكل (2-42): عمود الكامات وترس عمود الكامات



شكل (2-43): ترسى عمود الكامات وعمود الكرنك وعلامات ضبط التوقيت

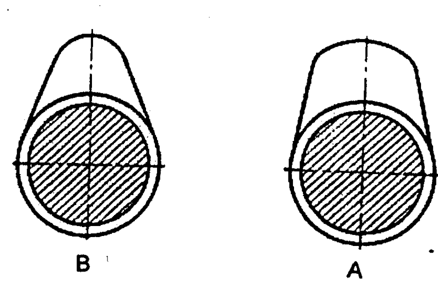
والكامة تعمل على تحويل الحركة الدائرية إلى حركة خطية أو فى خط مستقيم، و يوجد بالكامة جزء بارز " أنف الكامة " وهناك تابع يستند على الكامة بحيث يقترب أو يبتعد عن محور عمود الكامات عند دوران الكامة. ويحدد شكل الكامة (شكل2-44) مسار عمليات فتح وغلق الصمامات فعند استخدام الكامة الموضح

بشكل (A 44-2) يفتح الصمام بسرعة عالية، ويظل مفتوحاً لفترة طويلة. أما عند استخدام الكامة الموضح بشكل (B 44-2) فيفتح الصمام ببطء نسبياً ويظل مفتوحاً لفترة قصيرة، ويفضل إنجاز حركة الصمام بسرعة وبشكل فجائى من حيث تأثيرها على قدرة المحرك بالرغم مما ينشأ عن ذلك من عيوب تتعلق بالتآكل الشديد وأصوات الخبط المرتفعة، لذلك يصمم شكل الكامة بحيث يمكن الحصول على السرعة التوافقية لها والرفع المتوازن للصمامات.

تصنع اعمدة الكامات بالصب أو بالحدادة بالمطرقة ويستخدم حديد الزهر الرمادى وغالباً ما يستخدم حديثاً حديد زهر مصلد بالتبريد بالفجائى وتصلد أسطح أماكن تركيب الكامات والكراسى ثم تجلخ.

ب- (تابع الكامة) *CAM FOLLOWER*

تستعمل عادة وصلة بين ساق الصمام وعمود الكامات وتسمى رافعة الصمام أو تابع الكامة، وتعمل على رفع الصمام بتأثير أنف الكامة أثناء دورانها. وتوجد مسافة صغيرة بين النهاية السفلى لساق الصمام وتابع الكامة فى الوضع الذى يكون فيه الصمام مغلقا وتسمى هذه المسافة بالخلوص وإذا لم يترك هذا الخلوص أدى إلى ارتكاز ساق الصمام فوق التابع نتيجة لتمدده بالحرارة، فيؤدى ذلك إلى عدم غلق الصمام غلقا تاما، مما يعمل على اضطراب عمل المحرك بفقد جزء من قدرته وزيادة استهلاك الوقود نتيجة هروب الشحنة خصوصا عند السرعة البطيئة.



شكل (2-44): شكل الكامة

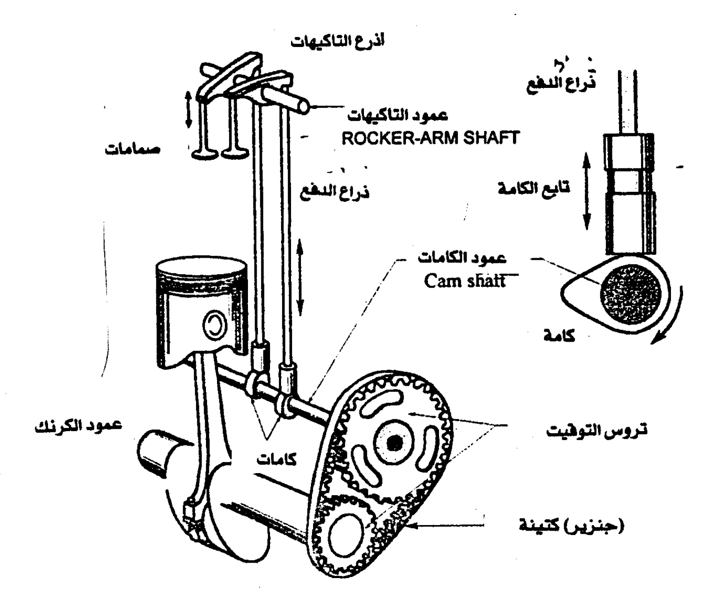
ولو ضبط الخلوص والمحرك ساخن، فإنه يزيد عندما تنخفض درجة الحرارة ويؤدى إلى حدوث ضوضاء عند التشغيل، ولو ضبط الخلوص والمحرك بارد فربما انعدم عند ارتفاع درجة حرارته، وإذا كان مقدار الخلوص كبيرا لا يرتفع الصمام بالمقدار الكافى مما يؤدى إلى عدم كفاية الشحنة التى تدخل الاسطوانة فى مشوار السحب وبذلك تقل قدرته، وكذلك الحال فى صمام العادم فلا يستطيع تصريف غازات العادم بأجمعها ، ويكون نتيجة ذلك فتح الصمامات متأخرا وغلقها مبكرا وتقل فترة تصريف العادم وفترة الشحن، وكذلك فإن صوت دق التاكيه(صوت التاكيهات) يكون مرتفعا، ولو كان الخلوص صغيرا لفتحت الصمامات مبكرا واغلقت متأخرة وترتب على ذلك قصر فترة الانضغاط وقصر فترة التشغيل مما يؤدى إلى خفض فى قدرة المحرك.

جـ- ذراع الدفع والذراع المتأرجحة " التاكيه " Push Rod & Rocker Arm

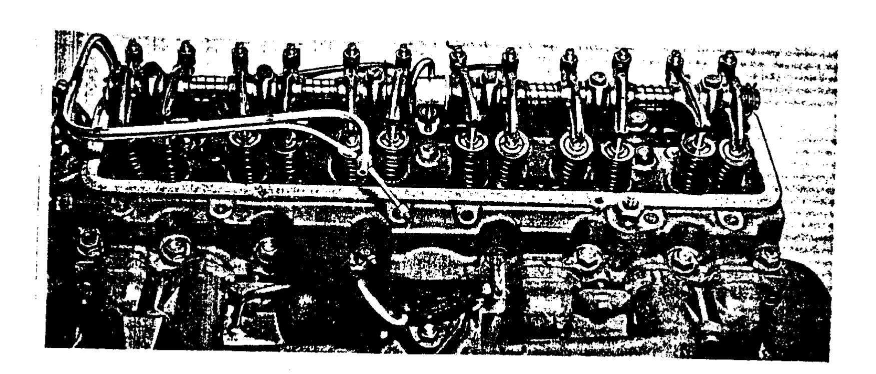
اذا كانت الصمامات من النوع العلوى وكان عمود الكامات داخل علبة المرفق كما يوضح شكل (2-45)، فتستعمل ساق دافعه ورافعة متأرجحة (التاكيه) لتشغيل الصمامات فتعمل الكامة مع تابعها كالعادة ويرتكز على تابع الكامة ذراع يؤثر على طرف رافعة متأرجحة فيدفعها إلى اعلى ويهبط طرفها الأخر إلى أسفل مؤثرا على ساق الصمام فيؤدى ذلك إلى فتحة ضد ضغط الياى. ويمكن ضبط الخلوص بواسطة مسمار الضبط فى طرف الرافعه المتأرجحة. وتركب أذرعة التاكيهات على عمود يعرف بعمود التاكيه Rocker arm Shaft (شكل 2-46)

د - الصمامات *Valves*

سبق أن ذكرنا أن لكل اسطوانة صمامين : صمام سحب Suction valve وصمام عادم Exhaust valve ووظيفة الصمامات هى ضبط دخول الشحنة وخروج غازات العادم، ونظراً لأن سرعة دخول الشحن أقل من سرعة خروج غازات العادم فإن رأس صمام الدخول يكون أكبر من نظيره فى صمام العادم. ويجب أن تضمن الصمامات منع التسرب من غرف الاحتراق فى أثناء الإنضغاط والتمدد لتفادى حدوث أى انخفاض فى الضغط.



شكل (2-45): تابع الكامة وذراع الدفع وأذرع التاكيهات



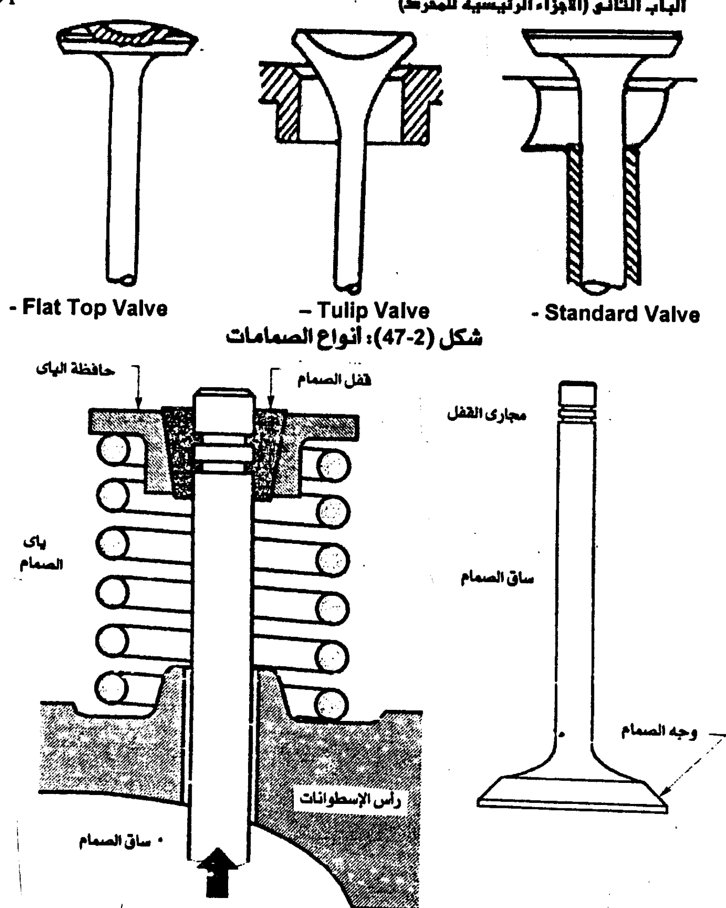
شكل (2-46): عمود التاكيهات

وتستعمل فى صناعة المحركات أنواع كثيرة من الصمامات (شكل 2-47). كما يوضح شكل (2-48) صمام الشائع الاستخدام وطريقة تثبيته فى رأس الاسطوانات ويسمى هذا النوع بالصمام القرص حيث أن رأسه عبارة عن قرص مستدير وله ساق طويلة فى نهايتها مجارى القفل.

وقطر الرأس حوالى ثلث قطر الاسطوانة، وتتعرض الصمامات لأحمال ميكانيكية وحرارية عالية وتصل درجة حرارة التشغيل فى صمام السحب إلى نحو 350°C، أما فى صمام العادم فتصل إلى نحو 700°C وعند درجات الحرارة العالية يتعرض الصمامات للتآكل بالصدأ. وتصنع الصمامات من سبيكة الفولاذ المضاف إليه كروم وسليكون.

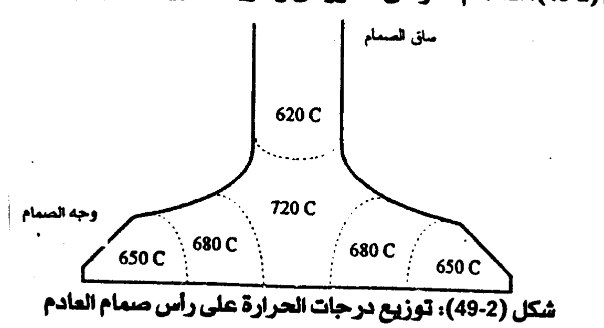
ويعمل صمام السحب وهو بارد نسبيا حيث أنه يسمح بمرور مخلوط الهواء والوقود فى محركات البنزين أو هواء فقط فى محرك الديزل، ولكن صمام العادم تمر عليه غازات العادم ذات درجات الحرارة العالية، وقد يحدث أن ترتفع درجة حرارة صمام العادم من شدة الحرارة إلى درجة الإحمرار، ويبين شكل (2-49) توزيع درجات الحرارة على صمام العادم أثناء إدارة المحرك. ويلاحظ أن ساق الصمام هو أبرد جزء فيه ثم يليه بعد ذلك الجزء من الصمام القريب من وجهه وذلك لأن ساق الصمام ينقل الحرارة إلى دليل الصمام مما يساعد على حفظ ساق الصمام باردا نسبيا، وكذلك ينقل وجه الصمام الحرارة إلى قاعدة الصمام مما يساعد على بقاء وجه الصمام باردا نسبيا، لذا يجب تبريد دليل الصمام وقاعدته ولضمان وجود تبريد جيد لهذه الأجزاء يوجد فى أكثر الحالات أنابيب لتوزيع ماء التبريد بداخل جسم الاسطوانة فى المحركات ذات الرأس L وتستعمل نافورات فى داخل جسم الاسطوانة فى المحركات ذات الرأس I وتعمل هذه الأنابيب والنافورات على زيادة كمية مياه التبريد، ومن ثم تبريد الأجزاء ذات درجات الحرارة العالية.





شكل (2-47): أنواع الصمامات

شكل (2-48): الصمام القرصى المخروطى وطريقة تثبيته فى رأس الاسطوانات



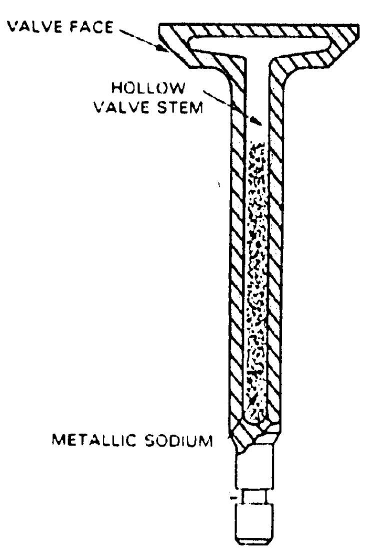
شكل (2-49): توزيع درجات الحرارة على رأس صمام العادم

ونظراً للتسخين غير المنتظم لقرص الصمام وتكون طبقة من الفحم على ساق الصمام أو عدم الاحكام الناتج عن وجود رواسب الاحتراق وتشكل هذه كلها خطراً على عمر الصمام وعلى الأخص صمام العادم. ويمكن الحد من هذا الخطر واطالة عمر الصمام باستعمال تجهيزه تعمل على تدوير الصمام.

وتستعمل فى كثير من المحركات ذات الخدمة الثقيلة صمامات مبردة بالصوديوم وذلك للمساعدة على تبريدها ولإطالة عمرها، وفى هذا النوع من الصمامات يكون ساق الصمام مجوفا ومملوءا جزئيا بصوديوم معدنى Metallic Sodium شكل (2-50)، ومما هو معروف أن الصوديوم ينصهر عند درجة حرارة عالية جداً وعليه فيكون الصوديوم سائلا عند دوران المحرك، وعندما يتحرك الصمام إلى أعلى أو إلى أسفل ينثر الصوديوم إلى أعلى فى الأجزاء الأكثر سخونة من الصمام، فيمتص الحرارة ثم يتساقط ثانية إلى تجويف ساق الصمام الذى يكون باردا نسبيا، ودور الصوديوم هو تبريد رأس الصمام وبذلك تنخفض درجة حرارة الصمام أثناء دوران المحرك، وعلى ذلك فإنه إذا تساوت الظروف يكون عمر الصمام المبرد بالصوديوم أطول من عمر الصمام المصمت.

ويجب أن يكون وجه الصمام مجلخاً تجلخا جيداً لإحكام الأغلاق، حيث أنه يجلس علفى مقعد الصمام فى رأس الإسطوانات عند الأغلاق. ويغلق الصمام بقوة الياى التى تجذبه من الساق إلى أعلى كما هو موضح بشكل (2-48) السابق.

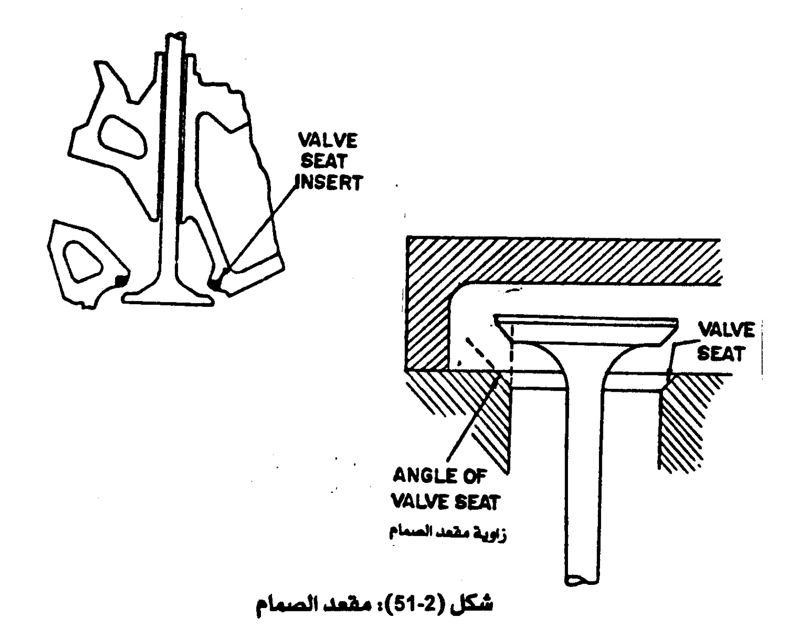
وفى بعض المحركات الحديثة يوجد نظام تعدد الصمامات Multi – Valve system حيث يوجد فى المحرك صمامين أو أكثر لدخول الشحنة والهدف من هذا النظام هو ادخال شحنة متدرجة تكون غنية (نسبة البنزين كبيرة) عند أقطاب شمعات الاحتراق (البوجيهات) وفقيرة فى الأماكن البعيدة عنها . وبهذا يتحسن بدء اشعال المحرك وتزداد كفاءة الاحتراق، وتنخفض بالتالى المواد الملونة فى العادم



شكل (2-50): صمام العادم مبرد بالصوديوم

- مقعد الصمام valve seat

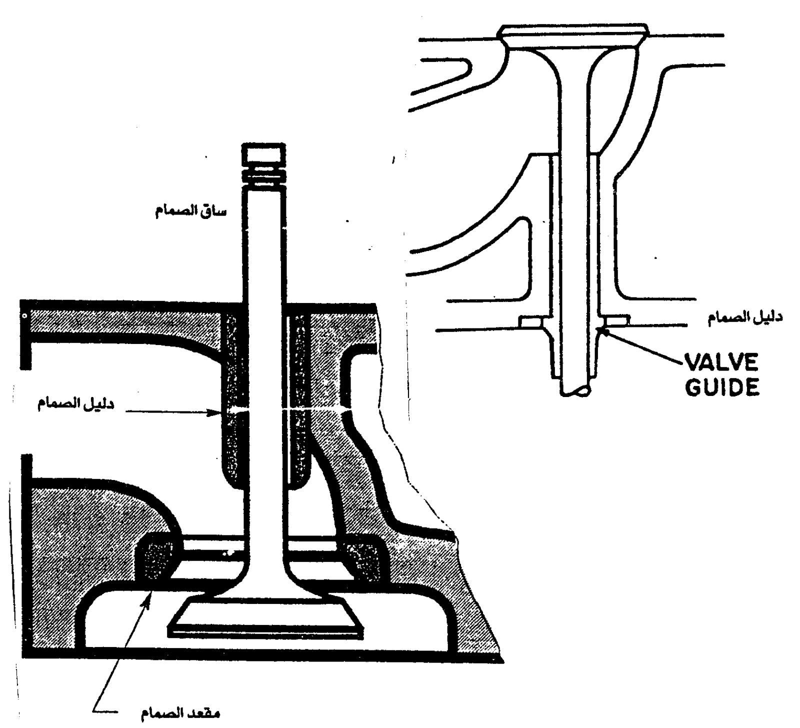
ولضمان الإحكام الجيد ضد تسرب الغازات يجب أن يكون هناك تلامس جيد وكامل (تخديم) بين وجه الصمام أى مساحة الارتكاز عند قرص الصمام وبين مساحة مقعد الصمام الموجود فى غرفة الاحتراق. فإن ذلك يتوقف على وجود مقعد مضبوط ومناسب للصمام فى غرف الاحتراق، وتميل حواف مساحة منع التسرب أو مساحة مقعد الصمام بزاوية °45~30. ويصدم قرص الصمام عند مقعده بمعدل 30 إلى 50 صدمة فى الثانية وبقوة تصل إلى نحو 600 نيوتن، ويتعرض مقعد صمام العادم لغازات العادم ذات درجات الحرارة العالية ولهذا السبب يصنع مقعد صمام العادم فى كثير من المحركات من نوع خاص من الصلب المقاوم لدرجة الحرارة العالية، ويصنع مقعد الصمام على شكل حلقة توضع بالضغط الشديد فى مكانها كما يوضح شكل (2-51) وتتحمل هذه الحلقة ظروف العمل أكثر من معدن رأس الاسطوانة، وبالإضافة إلى ذلك يمكن تغيير هذه الحلقة بسهولة عندما يزيد تآكلها بدرجة لا يمكن إصلاحها بواسطة تجليخ مقعد الصمام.



شكل (2-51): مقعد الصمام

- دليل الصمام Valve guide

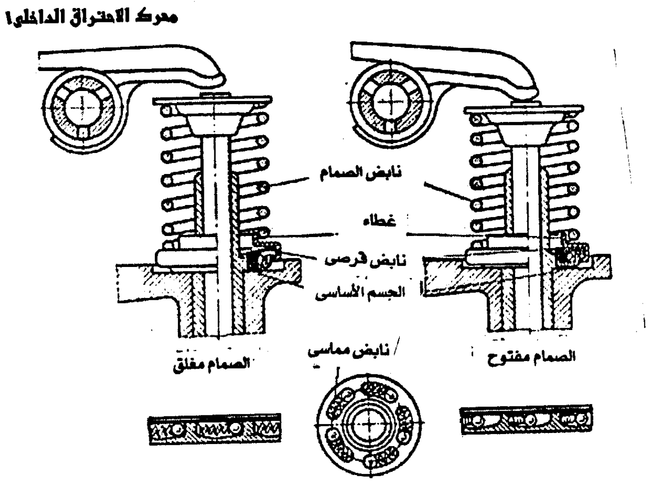
هو الجزء الذى يحيط بساق الصمام ويعمل على حفظه فى وضع محورى مع محور فتحة الصمام، ويصنع الدليل من الزهر الرمادى المصبوب، ويثبت بالضغط فى جسم الاسطوانة أو برأس الاسطوانة، ويمكن تغييره عند تآكله عن الحد المسموح به ويوضح شكل (2-52) دليل الصمام، حيث تنزلق ساق الصمام فى دليله لضمان الأداء السابق للصمام، ويعمل دليل الصمام وخاصة دليل صمام العادم على تبريد الحرارة وتسريبها، وهذا هو السبب فى ضرورة الاهتمام بصفة خاصة بمقدار الخلوص فى ساق الصمام، فإذا كان الخلوص بين الساق والدليل زائدا عن الحد المقرر له، ففى هذه الحالة تقل كمية الحرارة المتبادلة كما يصبح توجيه الصمام غير مضبوط ويصبح منع التسرب فى غرفة الاحتراق غير كاف، ومن ناحية أخرى إذا كان مقدار هذا الخلوص أقل من الحد المقرر له فقد تلتصق ساق الصمام ويبلغ الخلوص بين ساق الصمام وبين دليله عادة من 0.04mm إلى 0.09mm.



شكل (2-52): دليل الصمام Valve Guide

- ياى الصمام Valve Spring

تقوم مجموعة توقيت الحركة بفتح الصمامات، بينما يتم قفلها بواسطة اليايات، ووظيفة الياى غلق الصمامات بسرعة والمحافظة عليها فى حالة الغلق لحين فتحها مرة ثانية، وياى الصمام عادة حلزونى يركب حول ساق الصمام ويصنع الياى من الصلب الجيد وتتعرض يايات الصمامات لإجهادات كبيرة نتيجة لارتفاع درجات الحرارة، فضلا عن حركتها السريعة والمتواصلة، ومن ثم فإنها قد تصبح ضعيفة أو ربما تنكسر بعد فترة طويلة من التشغيل، ويوضح شكل (2-53) ياى الصمام.



شكل (2-53): ياى الصمام Valve Spring

معظم المحركات يستعمل فيها ياى واحد لكل صمام وأحيانا يستعمل يايان أو ثلاثة كل منهم داخل الآخر والغرض من استعمال يايات متعددة هو استعمال أسلاك رفيعة لكل ياى ولضمان توزيع الضغط حول الصمام بالمقارنة عند استعمال ياى واحد.

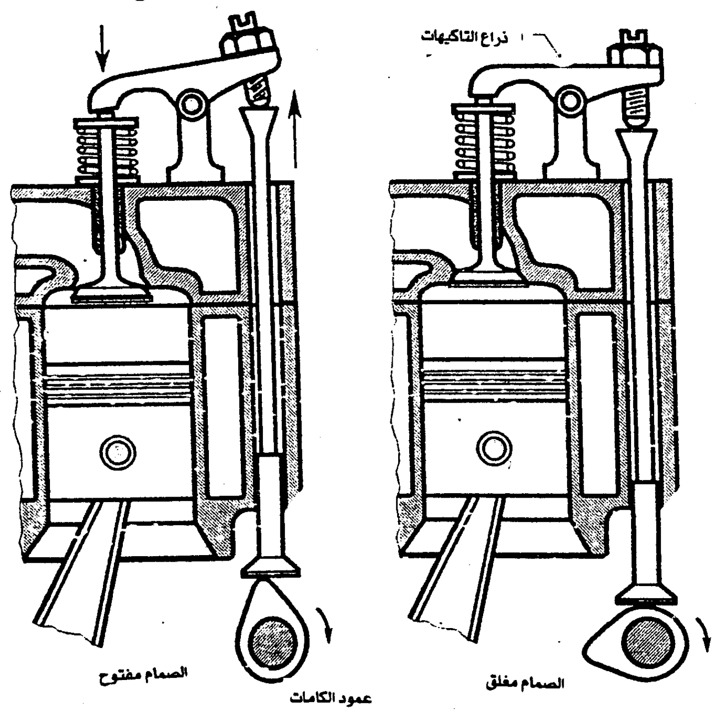
ويجب أن يكون الياى ذو مرونة مناسبة، كما يجب ان يؤثر الياى بضغط متساوى حول محيط الصمام، فالضغط غير المتساوى يؤدى إلى حدوث تآكل فى جانب واحد من دليل وقاعدة وراس الصمام فتصبح غير دائرية ولتلافى ذلك يسمح للصمام بالدوران قليلا فى كل مرة يفتح فيها وذلك لتوزيع التآكل وعدم تركيزه فى موضع واحد.

آليات تشغيل الصمامات

أثناء دوران الكامة وعندما يصبح بروزها لأعلى، يدفع ذراع الدفع إلى أعلى وتتحول هذه الحركة إلى دوران ذراع التاكيه حول محوره حركة بسيطة يدفع بموجبها ساق الصمام إلى أسفل ويفتحه وباستمرار دوران الكامة يتحرك عمود الدفع إلى أسفل، حيث يتحرر الصمام من القوة المؤثرة عليه من طرف ذراع التاكيه

ويتم قفله بقوة الياى. تتكرر هذه العملية كل دورة للمحرك (لفتين لعمود الكرنك ولفة واحدة لعمود الكامات) ويوضح شكل (2-54) الوضع عندما يكون الصمام مغلق أو مفتوحاً. ويلاحظ أن جميع أذرع التاكيهات تتحرك حول محور واحد يسمى عمود التاكيهات.

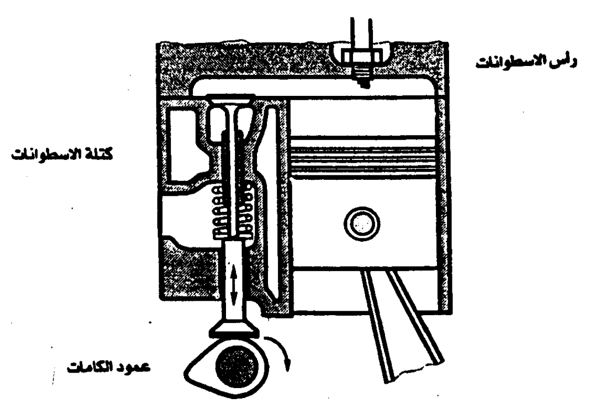
تقوم التاكيهات بفتح صمام السحب لكل اسطوانة قبل وصول المكبس إلى TDC فى شوط العادم واغلاقه فى نهاية شوط السحب وكذلك فتح صمام العادم فى بداية شوط العادم واغلاقه فى نهاية هذا الشوط، وقد يكون الصمامات جانبية اى بجانب الاسطوانات كما هو موضح بشكل (2-55) وهذا النوع غير شائع الاستخدام بسبب التعقيدات الميكانيكية لكتلة الاسطوانات وصعوبة الصيانة والاصلاح.



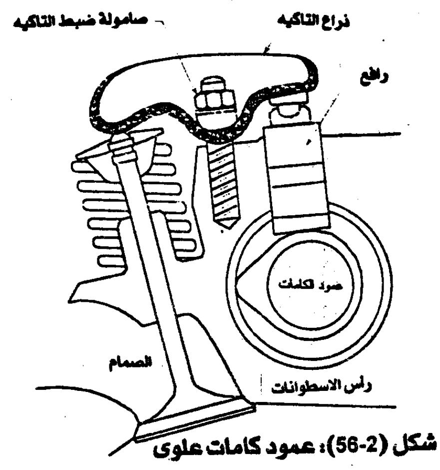
شكل (2-54): آليات التحكم فى الصمامات "التاكيهات"

وحاليا يثبت عمود الكامات فى رأس الاسطوانات فيما يسمى المحرك ذو الكامات العلوية Overhead cam Engine (OHCE) كما يوضح شكل (2-56) ويتميز هذا التصميم بالبساطة وسهولة الصيانة وصغر حجم المحرك. ويوضح شكل (2-57) وضع صمامات السحب وصمامات العادم عند أوضاع المكبس المختلفة خلال أشواط المحرك الرباعى.

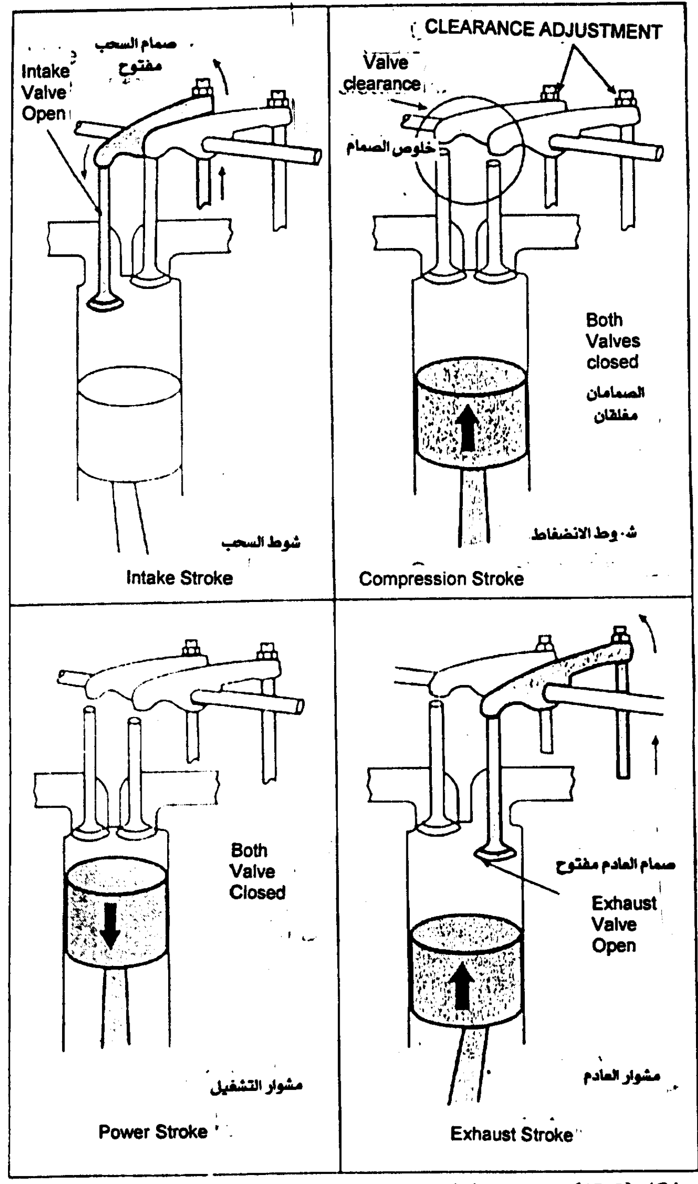
يغطى آليات تشغيل الصمامات (التاكيهات) غطاء فى أعلى المحرك ويعرف بغطاء التاكيهات.



شكل (2-55): الصمام الجانبى



شكل (2-56): عمود كامات علوى



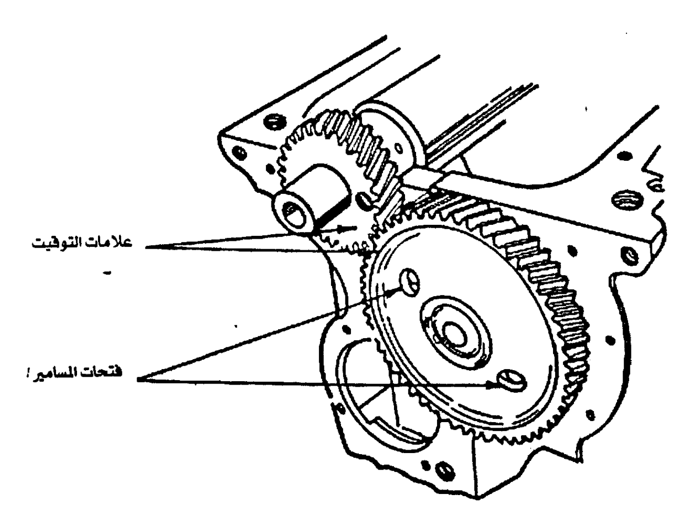
شكل (2-57): وضع صمامات السحب وصمامات العادم عند أوضاع المكبس المختلفة خلال أشواط المحرك الرباعى

طرق إدارة عمود الكامات

وتعتمد الطريقة على موقع عمود الكامات وهناك عدة طرق لإدارة عمود الكامات:

أ- الإدارة بالتروس: Gears

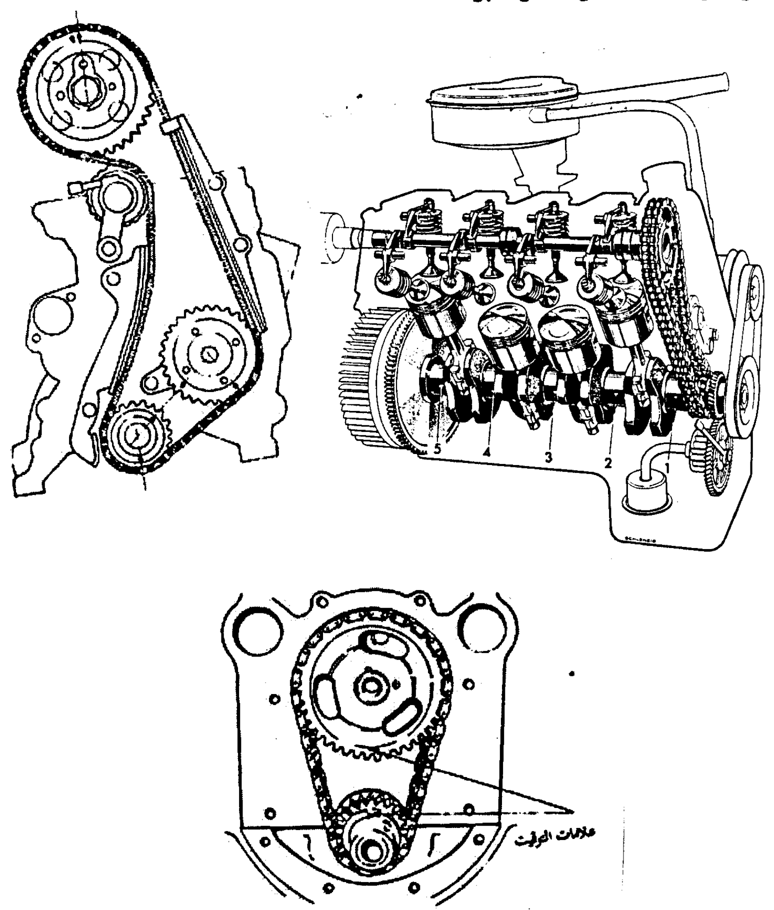
تستخدم التروس فى حالة قرب محور عمود الكامات من محور عمود الكرنك وتستخدم التروس ذات الأسنان المائلة حتى تحقق إدارة بهدوء ويوضح علامات على أسنان التروس حتى تركيب ترس عمود الكامات وعمود الكرنك فى وضعهما الصحيح بالنسبة لبعضهما البعض كما يوضح شكل (2-58) وفى حالة الصمامات العلوية يستعمل أذرع الدفع الطويلة مما يؤدى إلى زيادة كتلة الأجزاء المتحركة فعند السرعات العالية تزداد قوى القصور الذاتى بحيث لا يمكن غلق الصمامات فى التوقيت الصحيح لذلك لا تستعمل هذه الطريقة حالياً إلا فى المحركات على شكل حرف V وفى المحركات ذات الاسطوانات المتقابلة حيث يتم تشغيل صمامات صفى الاسطوانات بعمود كامات واحد.



شكل (2-58): إدارة عمود الكامات بالتروس

ب- الإدارة بعجل مسننة وجنزير Timing Chain

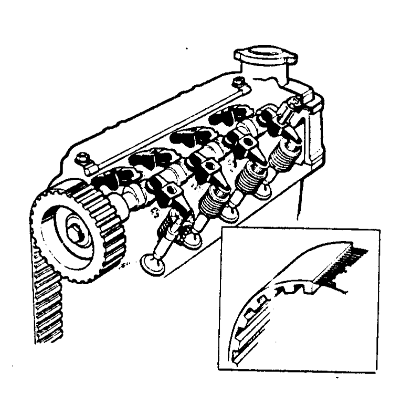
تستخدم هذه الطريقة فى حالة ابتعاد محور عمود الكامات عن محور عمود الكرنك ولتصغير كتلة الأجزاء المتحركة قدر الإمكان يوضح عمود الكامات فى أعلى موقع بعلبة الكرنك أو فوق رأس الاسطوانات ويتم الإدارة بواسطة سلسلة (جنزير) وعجلات مسننة كما يوضح شكل (2-59). وقد تكون السلاسل أحادية أو مزدوجة وتظل هذه السلاسل مشدودة بواسطة شدات.

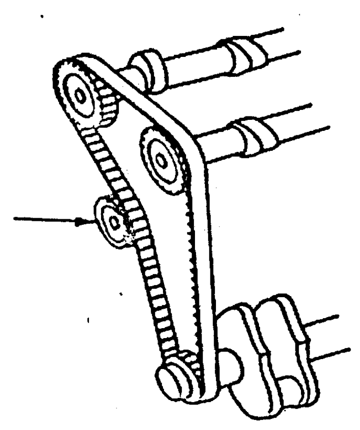


شكل (2-59): إدارة عمود الكامات بواسطة جنزير والعجلات المسننة

جـ- الإدارة بالسيور المسننة Toothed drive belt

تستعمل السيور المسننة لإدارة أعمدة الكامات العلوية وهذا النوع من الإدارة غير منتشر ويوضح شكل (2-60) نموذج إدارة عمود الكامات بالسيور المسننة يكون السير من المطاط ومسنن ويتميز بإدارة عمود الكامات العلوى دون ضوضاء ويكون السير من المطاط.





شكل (2-60): إدارة عمود الكامات بالسيور المسننة

المحركات الثنائية

تستخدم محركات الثنائية الأشواط فى المحركات الصغيرة ذات الاسطوانة الواحدة أو ذات الاسطوانتين. وفى هذا النوع من المحركات تتم الدورة الحرارية خلال مشوارين اثنين فقط من المكبس ولذا كان تصميم المحرك الثنائى مختلف بعض الشىء عن المحرك الرباعى المشوار. ويوضح شكل (2-61) المحرك الثنائى ويلاحظ انه لا يوجد صمامات أعلى الاسطوانة ولكن توجد فتحتان على جانبى الاسطوانة أحداهما للسحب والأخرى لطرد العادم، وذلك للإستغناء عن عناصر التحكم المعقدة فى المحركات رباعية الأشواط مثل (عمود الكامات -الصمامات — الروافع — التاكيهات — وعمود التاكيهات).

الخواص التصميمية لمحرك ثنائى الأشواط

يتكون محرك ثنائى الأشواط من الأجزاء الأساسية التالية.

1- علبة المرفق Crank Case

وهى علبة محكمة الإغلاق، يوجد بها فتحة متصلة بمجرى التوصيل وذلك لتوصيل خليط الوقود والهواء (الشحنة) إلى غرفة الاحتراق بالاسطوانة. ويتكون ضغط منخفض فى علبة المرفق عند السحب حوالى (50 kPa)، وعند الانضغاط يتكون فيها ضغط زائد حوالى (130 kPa) لتحقيق كسح جيد ولهذا السبب تصنع بحجم صغير بحيث تمنع التسرب.

2- مجرى التوصيل Main Fold

وهو مجرى متصل ما بين علبة المرفق والأسطوانة، وذلك لتوصيل خليط الوقود والهواء (الشحنة) إلى غرفة الاحتراق بالأسطوانة.

3- المكبس Piston

يكون راس المكبس محدبا تحدبا خفيفا، وتثبت حلقات المكبس (الشنابر) فى مجاريها بواسطة مسامير لتمنع دورانها. ويقوم المكبس فى المحرك ثنائى الأشواط بالوظائف التالية:

(أ) سحب وضغط خليط الوقود والهواء (الشحنة) داخل الاسطوانة.

(ب) التحكم فى دخول خليط الوقود والهواء إلى الاسطوانة، وخروج غازات العادم من الاسطوانة.

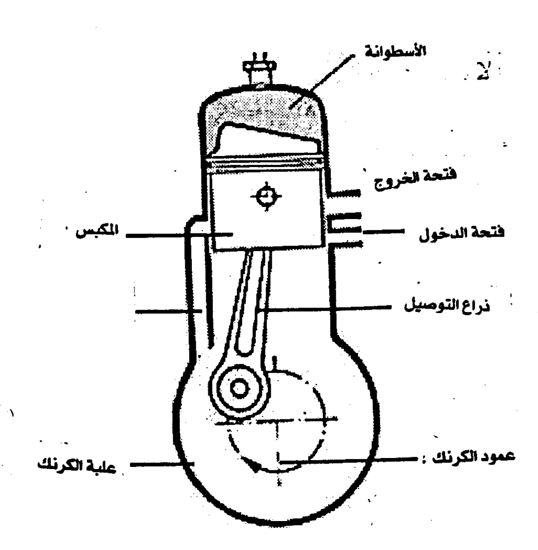
(جـ) يقوم رأس المكبس ذو البروز بتوجيه مسار الشحنة إلى أعلى أثناء دخولها إلى الاسطوانة وكذلك توجيه مسار العادم إلى فتحة الخروج.

4- الأسطوانة Cylinder:

وهى مجهزة بفتحات فى وسطها تقريباً، حيث يتم التحكم فى فتح وغلق هذه الفتحات (لدخول الشحنة وخروج غازات العادم) عن طريق حركة المكبس.

5- عمود المرفق (الكرنك) Crank Shaft

يجزأ عمود المرفق ليمكن تحميله على كراسى. وتستعمل أيضاً كراسى لتحميل النهاية الكبرى لذراع التوصيل التى لا تكون مجزاة.



شكل (2-61): الأجزاء الأساسية لمحرك ثنائى الأشواط

مميزات المحرك ثنائى الأشواط بالمقارنة بالمحرك رباعى الأشواط.

1 — تصميم مبسط، وزن خفيف، ورخيص.

2- دوران هادئ لنفس عدد الأسطوانات.

3- الأجزاء المتحركة قليلة.

4 — تكاليف إصلاح قليلة.

5 — قدرة كبيرة لنفس الحجم الشوطى.

6 — قدرة أكبر على التسارع

عيوب المحرك ثنائى الأشواط بالمقارنة بالمحرك رباعى الأشواط.

- استهلاك نوعى اكبر للوقود لكل السرعات.

2- استهلاك زيت اكبر.

3- تكوين رائحة غير مقبولة.

4- تحميل حرارى عالى للمحرك.

5 — قدرة قليلة على الكبح فى المنحدرات.

6- يحتوى العادم على مكونات ضارة كثيرة.

- طرق الكسح (إخراج غازات العادم) بالمحرك ثنائى الشوط

يكون زمن شحن وتفريغ الأسطوانة بالمحرك ثنائى الشوط قصير جداً. لذلك تؤثر طريقة الكسح (إخراج غازات العادم) بدرجة كبيرة على قدرة المحرك وعلى الاستهلاك النوعى للوقود. ولقد تم تطوير عدة طرق للكسح ولم يعد يستعمل منها إلا طريقة الكسح العكسى وهذه الطرق هى:

1- الكسح بالتيار المستعرض:

وفيها يشكل رأس المكبس ببروز من جانب واحد. وتقع كل من فتحة التوصيل وفتحة خروج العادم فى وضعين متقابلين بالأسطوانة. وعند فتحة التوصيل يقوم بروز رأس المكبس بتوجيه الشحنة إلى أعلى. فتزيح الشحنة غازات

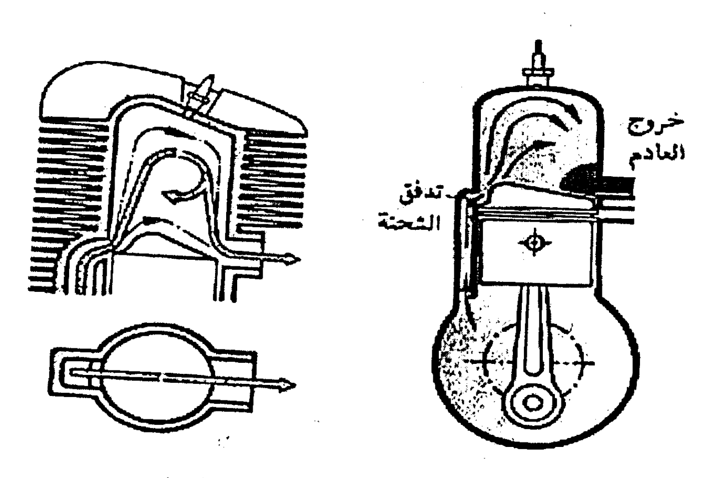
العادم المتبقية فى اتجاه فتحة خروج العادم المفتوحة مسبقاً. كما هو مبين فى (شكل 2-62).

2- الكسح العكسى:

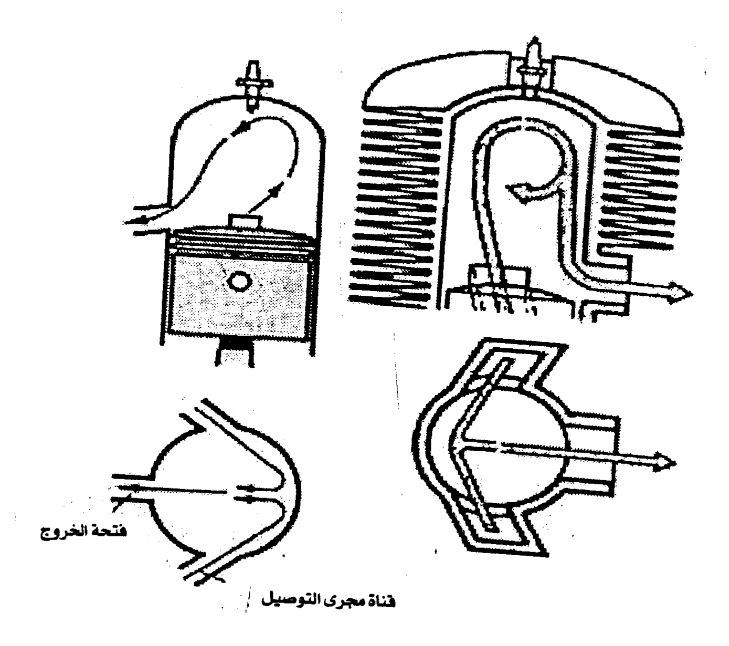
تدخل الشحنة النقية إلى الاسطوانة من خلال قناتى مجارى التوصيل فى وضع مماس لمحيط الأسطوانة، لتصطدم مع بعضها فى وسط الأسطوانة، ثم يتحد اتجاهها وتتجه إلى رأس الأسطوانات حيث تنحرف نتيجة الشكل الدائرى لغرفة الاحتراق لتتجه إلى فتحة العادم كما يوضح (شكل 2-63).

3- الكسح ذو التدفق فى اتجاه واحد فى اسطوانتين متجاورتين:

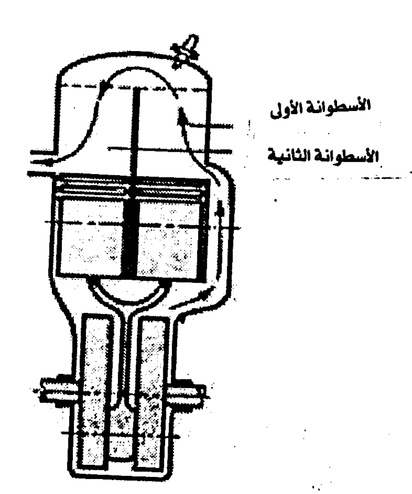
تستعمل فى المحركات ذات الاسطوانتين بحيث تكونان متجاورتين أو خلف بعضهما. وتشترك الأسطوانتان فى كل من حيز الانضغاط وعلبة المرفق. وتتدفق الشحنة من خلال قناة مجرى التوصيل إلى الاسطوانة الأولى، ومنها إلى فتحة العادم للأسطوانة الثانية عبر غرفة الانضغاط كما فى (شكل 2-64).



(شكل 2-62): الكسح بالتيار المستعرض



(شكل 2-63): الكسح العكسى

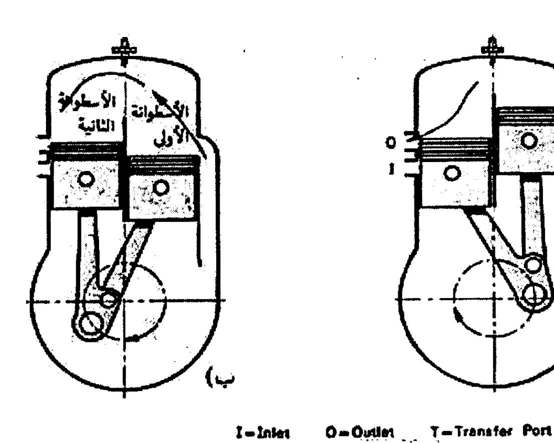


(شكل 2-64): الكسح ذو التدفق فى اتجاه واحد فى اسطوانتين متجاورتين

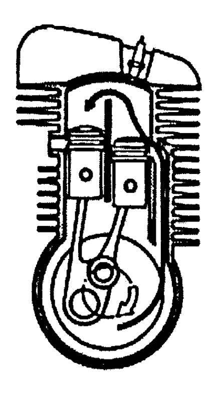
4 – الكسح ذو التدفق فى اتجاه واحد فى اسطوانتين متتابعتين:

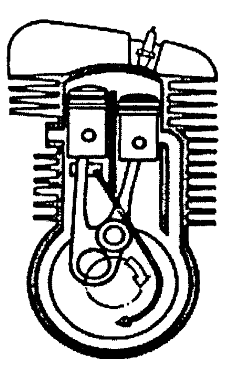
يتصل مكبس الاسطوانة الثانية بذراع التوصيل الرئيسى، كما يتصل مكبس الأسطوانة الأولى بذراع توصيل فرعى. ويتساوى ارتفاع مكبسين فى كل الاسطوانتين عند أوضاع النقط الميتة.

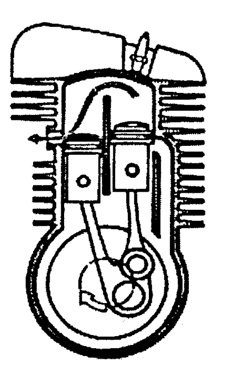
وعند التحرك إلى أسفل (شكل 2-65 A) فإن مكبس الاسطوانة الثانية يسبق مكبس الأسطوانة الأولى وبذلك يفتح فتحة العادم قبل فتح قناة مجرى التوصيل بواسطة مكبس الاسطوانة الأولى. وعند حركة المكبسين إلى أعلى (شكل 2-65 B) نجد أن مكبس الأسطوانة الثانية يسبق مكبس الأسطوانة الأولى ليغلق فتحة العادم أولاً. مع بقاء قناة مجرى التوصيل مفتوحة لفترة الدخول الشحنة قبل أن تغلق بواسطة مكبس الأسطوانة الأولى. (شكل 2-66).



شكل (2-65): الكسح ذو التدفق فى اتجاه واحد فى اسطوانتين متتابعتين







(شکل 2-66):

الباب الثالث

نظرية عمل

محرك الاحتراق الداخلى

الباب الثالث

نظرية عمل محرك الاحتراق الداخلى

3-1- مقدمة

فى محركات الاحتراق الداخلى يستفاد مباشرة من الطاقة المختزنة فى الوقود لأداء الشغل. وينبغى أن يكون وقود محركات الاحتراق الداخلى سهل الاشتعال أما فوريا أو بعد قدر محدود من الارتفاع فى درجة الحرارة. وفى عملية الاحتراق تتكون غازات تتمدد بسرعة فى كل الاتجاهات. ويستفاد من هذه العملية الخاصية إلى أقصى حد فى المحرك لتحويل الطاقة الكيميائية المختزنة فى الوقود إلى طاقة ميكانيكية عن طريق الاحتراق.

كما سبق شرحه تزود كتلة الاسطوانات *Block Cylinders* بعدة تجاويف إسطوانية الشكل تسمى اسطوانات *Cylinders* وتغلق عند قمتها برأس الاسطوانات *Cylinder head* الذى يحتوى كذلك على غرف الأحتراق. وتحتوى كل اسطوانة على مكبس يتصل بذراع التوصيل *Connecting rod* عن طريق مسمار خاص يسمى بنز المكبس *Piston pin* ويتصل الطرف السفلى لذراع التوصيل، وهو المعروف باسم النهاية الكبرى لذراع التوصيل، بالعمود المرفقى(عمود الكرنك *Crankshaft*) بطريقة تمكنه من التحرك على بنز المرفق، ويتحرك المكبس إلى أسفل موضع له عندما يتم العمود المرفقى نصف لفة، وبهذه الكيفية ينشأ السحب فوق المكبس. وباستمرار دوران عمود المرفق يتحرك المكبس إلى أعلى ضاغطا الشحنة فترتفع درجة حرارتها وتعرف هذه العملية باسم عملية الانضغاط. ولضمان إتمام عملية الاحتراق ينبغى اشتعال الوقود فى غرفة الاحتراق لتتمدد الغازات الناتجة من احتراقه ضاغطة على المكبس فتدفعه إلى أسفل.

2-3- بعض التعاريف الأساسية *Basic Definitions*

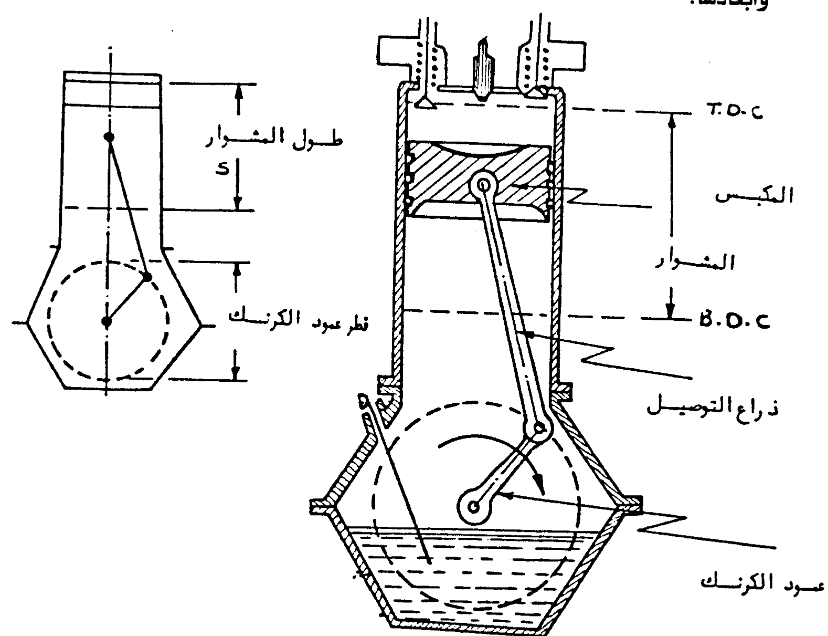
النقطة الميتة العليا (ن.م. ع) *Top Dead Center T.D.C*

تعرف اعلى نقطة يصل عندها سطح المكبس خلال تحركه بالنقطة الميتة العليا (ن.م. ع) *Top Dead Center T.D.C*.

النقطة الميتة السفلى (ن. م. س) *Bottom Dead Center B.D.C*.

تعرف أسفل نقطه يصل إليها سطح المكبس خلال تحركه بالنقطة الميتة السفلى (ن. م. س) *Bottom Dead Center B.D.C*.

يوضح شكل (3-1) قطاع فى اسطوانة محرك يبين عليها أهم أجزاءها وأبعادها.



شكل (3-1): قطاع فى اسطوانة محرك مبين عليها أهم أبعادها

- طول مشوار المكبس *Piston Stroke*

يعرف مشوار المكبس *Piston Stroke* على أنه المسافة التى يتحركها المكبس من النقطة الميتة العليا إلى النقطة الميتة السفلى. ونلاحظ أن طول مشوار المكبس يساوى قطر دائرة دوران عمود الكرنك ويحدث دوران لعمود الكرنك يعادل $180°$ لكل مشوار. وهو يعادل ضعف نصف قطر دوران عمود الكرنك:

$$S = 2R$$

حيث: S : طول مشوار المكبس *Piston Stroke*

R : نصف قطر دوران عمود الكرنك

- أبعاد الاسطوانة Cylinder Size

يعبر عنها عادة بـ (Bore X Stroke) وعلى ذلك فعندما يذكر رقمان لأبعاد الاسطوانة، فالرقم الأول هو قطر (Bore) اسطوانة والثانى هو طول المشوار (Stroke). فمثلا اسطوانة محرك أبعادها (100 x 110 mm) يعنى أن قطر الاسطوانة 100 mm وطول المشوار 110 mm. وفيما يلى أقطار الأسطوانة للمحركات المختلفة:

<u>محركات الأشتعال بالشرارة</u>

محرك صغير (الدرجات البخارية)	50 ~ 85mm
محرك سيارات الركوب	70 ~ 100 mm
محرك سيارات النقل	90~130 mm
محرك غازى	220 ~450 mm

<u>محركات الاشتعال بالأنضغاط (ديزل)</u>

محركات سيارات الركوب	75 ~ 100 mm
محركات سيارات النقل	100~150 mm
محركات المحمولة	150~400 mm
محركات السفن –محركات بطيئة	400~ 1000 mm

- **النسبة بين المشوار والقطر:**

تحسب النسبة (r) بين طول المشوار (S) إلى قطر الاسطوانة D على النحو التالي:

$$r = \frac{S}{D}$$

وليس هناك علاقة قياسية بين طول المشوار وقطر الاسطوانة ولكن عموما تتراوح هذه النسبة بين 0.8 إلى 1.4. المحركات التى يكون فيها طول المشوار أكبر من القطر (r>1). يقال عنها أنها محركات طويلة المشوار *Long Stroke engine*. فى المحركات المتعددة الاسطوانات وذات السرعة العالية *High- Speed engines* يكون طول المشوار أقل من قطر الاسطوانة (r<1) وذلك للأسباب الأتية:

1- يمكن تخفيض كمية المعدن اللازمة لتصنيع المحرك. وبالتالى تقل النسبة بين وزن المحرك إلى قدرته أو ما يعرف بالوزن النوعى للمحرك (Specific weight)

2- نظراً لأن طول المشوار قصير فإن نصف قطر دوران عمود الكرنك يكون صغير وبالتالى ينخفض عزم القصور الذاتى ويؤدى ذلك إلى تقليل اهتزازات المحرك عند السرعات العالية.

3- تقليل سرعة المكبس المتوسطة ومساحة تلامس الشنابر عند أى سرعة دوران للمحرك. وهذا يعنى فى الحقيقة تقليل تآكل جدار الاسطوانة والشنابر.

وفيما يلى نسبة المشوار إلى قطر الاسطوانة لأنواع مختلفة من المحركات:

محركات الأشتعال بالشرارة	
محرك صغير (الدرجات البخارية)	0.9~1.2
. محرك سيارات الركوب	0.9~1.1
محرك سيارات النقل	0.7~1.2
محرك غازى	1.1~1.4
محركات الاشتعال بالأنضغاط (ديزل)	
محركات سيارات الركوب	0.9~1.2
محركات سيارات النقل	1.1~1.4
محركات المحمولة	1.1~1.3
محركات السفن –محركات بطيئة	1.2~3.0

وهناك نسبة اخرى (h) تربط بين نصف قطر دوران عمود الكرنك (R)وطول ذراع التوصيل (ℓ)

$$h=\frac{R}{\ell}$$

وتتراوح قيمه h من 0.25 إلى 0.35 فى المحركات البنزين الصغيرة والمتوسطة وتبلغ فى محركات الديزل إلى نحو من 0.20 أما فى محركات الديزل بطيئة السرعة فقد تصل هذه النسبة نحو إلى 0.11.

ـحجم الخلوص *The Clearance Volume "V_c"*

هو الحجم فوق سطح المكبس (راس المكبس)عندما يكون المكبس عند النقطة الميتة العليا، وهذا الحيز يطلق عليه أيضا اسم غرفة الاحتراق *Combustion Chamber*. أو يعرف بحيز الانضغاط Compression space volume

ـ إزاحة المكبس *Piston Displacement*

إزاحة المكبس هى الحجم الذى يزيحه المكبس عند حركته من أعلى الى أسفل نقطة داخل الاسطوانة أى من النقطة الميتة العليا *T.D.C* إلى النقطة الميتة السفلى *B.D.C*. وتعرف إزاحة المكبس أيضا بحجم المشوار Vs وهو الحجم بين النقطة الميتة العليا *T.D.C* والنقطة الميتة السفلى *B.D.C*.

$$V_s = A_p S$$

$$V_s = \frac{\pi}{4} D^2 . S$$

حيث :

A_p - مساحة سطح المكبس سم^٢	*Piston top Area*,cm^2
V_s - حجم المشوار سم^٣	*Stroke Volume*, cm^3
D - قطر الاسطوانة سم	*Cylinder diameter*, cm
S - طول مشوار المكبس سم	*Piston Stroke*, cm

ـ سعة المحرك Engine Displacement

تعرف سعة المحرك بأنها حجم الإزاحة الكلى للمحرك. وهو ما يعرف بـ Cylinders Capacity (CC)

$$V_e = V_s . n$$

حيث:

V_e = حجم إزاحة المحرك (سعة المحرك) سم٣ Engine displacement (cm^3)

V_s = حجم المشوار (سم٣) Stroke volume (cm^3)

n = عدد الاسطوانات (-) number of cylinders (-)

ويعبر عن الإزاحة بالسنتيمتر المكعب فى المحركات الصغيرة (اقل من $1000 cm^3$)، أما فى المحركات الكبيرة (أكبر من $1000 cm^3$) فيعبر عنه باللتر Liter (فمثلاً محرك سعته $1400 cm^3$ يطلق عليها 1.4 Liter). ويتوقف حجم المحرك على عدد الاسطوانات ونوع المحرك. وفى كثير من الأحيان ينسب حجم المحرك إلى قدرته.

وتعرف النسبة بين قدرة المحرك إلى سعته بالحجم النوعى للمحرك Specific Volume

$$\text{Specific Volume (kW /liter)} = \frac{\text{Rated Power (kW)}}{\text{Engine Volume (liter)}}$$

وفيما يلى الحجم النوعى للمحرك (kW/liter) لأنواع مختلفة من المحركات:

محركات الاشتعال بالشرارة	(kW/liter) كيلووات /لتر
محرك صغير (الدرجات البخارية)	20~60
محرك سيارات الركوب	25~50
محرك سيارات النقل	25~30
محرك غازى	3~7
محركات الاشتعال بالأنضغاط (ديزل)	
محركات سيارات الركوب	18~22
محركات سيارات النقل	15~26
محركات المحمولة	5~20
محركات السفن –محركات بطيئة	2~8

- نسبة الانضغاط (الكبس) The Compression Ratio C.R

تعرف نسبة الانضغاط (الكبس) على أنها النسبة بين حجم الاسطوانة عندما يصل المكبس عند النقطة الميتة السفلى إلى حجم الاسطوانة عندما يصل المكبس إلى النقطة الميتة العليا.

حيث:

$$CR=\frac{V_c+V_s}{V_c}=1+\frac{V_s}{V_c}$$

V_c= حجم الخلوص (حيز الانضغاط) (سم٣) Clearance Volume,(cm^3)

V_s =حجم المشوار (سم٣) Stroke Volume,(cm^3)

CR= نسبة الانضغاط (-) Compression ratio (-)

ويمكن حساب حجم حيز الانضغاط من العلاقة الآتية:

$$V_c=\frac{V_s}{CR-1}$$

وهذه النسبة تتراوح فى محركات الإشتعال بالشرارة (بشكل عام) من 4:1 إلى 12:1 فإذا انخفضت هذه النسبة عن 4 كان هناك صعوبة فى إحداث عملية الاشتعال للوقود لأن درجة حرارة المخلوط تعتمد على نسبة الكبس، وينتج عن ذلك اشتعال غير كامل للوقود. فى محركات البنزين تتراوح النسبة بين 8:1 إلى 12:1 أما نسبة الكبس العالية فهى غير مرغوبة الى حد معين حتى لا يؤدى إلى اشتعال مفاجىء للمخلوط قبل وصول المكبس إلى نهاية المشوار وحدوث ظاهرة التصفيق فى المحرك، وبالتالى يحدث فقد فى القدرة المتولدة. أما نسبة الكبس فى محركات الديزل فتتراوح بين 1 :14 الى 1 :22 وتحدث هذه النسبة العالية لأن بسبب زيادة ضغط الهواء يزيد من سهولة وسرعة احتراق الوقود عند حقنه. ولكن فى نفس الوقت تحتاج نسبة الكبس العالية إلى قوة تحمل عالية للمواد المصنع منها أجزاء المحرك مما يزيد من ثمن محرك الديزل إذا ما قورن بمحرك بنزين مساوى له فى القدرة الناتجة منه.

وفيما يلى نسب الانضغاط لأنواع مختلفة من المحركات:

محركات الاشتعال بالشرارة

محرك صغير (الدرجات البخارية)	4~11
محرك سيارات الركوب	8~10
محرك سيارات النقل	7~9
محرك غازى	8~12

محركات الاشتعال بالأنضغاط (ديزل)

محركات سيارات الركوب	17~23
محركات سيارات النقل	14~22
محركات المحمولة	12~18
محركات السفن —محركات بطيئة	10~12

3-3- ديناميكا المحرك Dynamics of Engine

تتأثر عملية الاحتراق والقدرة الناتجة بخواص الحركة الترددية للمكبس أو بمعنى آخر أن يمكن تحديد أبعاد الاسطوانة وذراع التوصيل طبقا لاحتياجات الدورة الحرارية. وسوف نعرض فيما يلى خواص الحركة الترددية للمكبس من حيث الإزاحة والسرعة والعجلة.

- حركة المكبس داخل الاسطوانة Piston Travel

يتحرك المكبس حركة ترددية داخل الاسطوانة. ويمكن إيجاد مسافة أزاحة المكبس كدالة فى زاوية الكرنك وذلك باستخدام الرموز الموجودة بشكل (3-2) على النحو التالى:

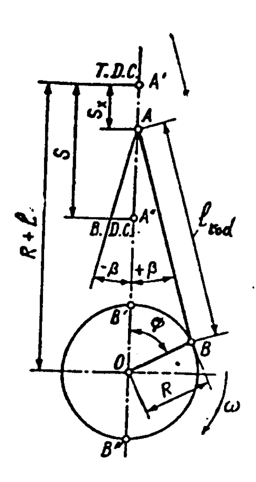
$$S_x = (\ell + R) - (\ell \cos\beta + R\cos\phi)$$

$$S_x = R\left[(1-\cos\phi) + \frac{1}{h}(1-\cos\beta)\right]$$

حيث: S_x = مقدار إزاحة المكبس (Piston travel)

R = نصف قطر الكرنك (Crank radius)

h = النسبة بين قطر الكرنك وطول ذراع التوصيل



Diagrams of crank mechanisms

شكل (2-3) أبعاد المحرك

ϕ = زاوية حركة الكرنك وتحسب بين محور الاسطوانة وعمود الكرنك فى إتجاه عقارب الساعة (Angle of crank travel)

β = الزاوية المحصورة بين ذراع التوصيل ومحور الاسطوانة

وحيث أن:

$$Cos\beta = 1 - \frac{1}{2}h^2\sin^2\phi - \frac{1}{2\times 4}h^4\sin^4\phi$$

وبالتعويض فى معادلة الازاحة عند قيمة $\cos\beta$ من المعادلة السابقة

$$S_x = R\left[(1-\cos\phi) + \frac{1}{h}(1 - 1 + \frac{1}{2}h^2\sin^2\phi)\right]$$

$$S_x = R\left[(1-\cos\phi) + (\frac{h}{2}\sin^2\phi)\right]$$

$$S_x = R\left[(1-\cos\phi) + \frac{h}{4}(1-\cos2\phi)\right]$$

$$at\ \phi=90^\circ \qquad S_x=R(1+\frac{h}{2})$$

$$\phi=180^\circ \qquad S_x=2R=S$$

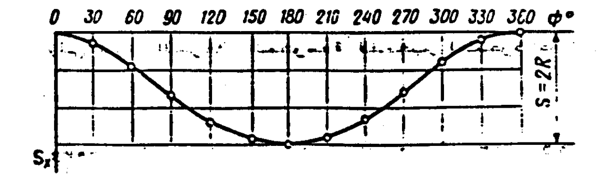
ويبين شكل (3-3) التغير فى أزاحة المكبس S_x مع زاوية عمود الكرنك.

ويمكن حساب قيمة مقدار ازاحة المكبس S_x عند اى زواية من عمود الكرنك ايضاً من المعادلة التالية

$$S_x = R\cos\phi + (\ell^2 - R^2\sin^2\phi)^{1/2}$$

ويمكن حساب نسبة حجم الإزاحة عند اى نقطة V_x إلى حجم غرفة الاحتراق V_c بمعرفة نسبة الانضغاط CR وزاوية عمود الكرنك ϕ من المعادلة الآتية:

$$\frac{V_x}{V_c}=1+\frac{1}{2}(CR-1)\left[\frac{1}{h}+1-cos\phi-(\frac{1}{h^2}-\sin^2\phi)^{1/2}\right]$$



شكل (3-3): التغير فى مسافة إزاحة المحرك مع زاوية عمود الكرنك

3-3-2- السرعة الخطية لحركة المكبس داخل الاسطوانة Piston Velocity

سرعة المكبس υ_p يمكن إيجادها بتفاضل حركة المكبس.

$$\upsilon_p = \frac{dS_x}{dt} = \frac{dS_x}{d\phi} \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

$$\upsilon_p = R\omega(\sin\phi + \frac{h}{2}\sin 2\phi)$$

$$at \quad \phi = 0^\circ \ or \ \phi = 180^\circ \rightarrow \upsilon_p = 0$$

$$at \quad \phi = 90^\circ \quad \rightarrow \upsilon_p = R\varpi$$

$$at \quad \phi = 270 \quad \upsilon_p = -R\varpi$$

أقصى سرعة للمكبس The maximum piston velocity

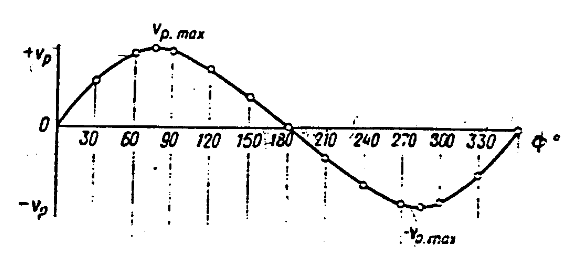
$$\upsilon_p \max = R\omega(1 - \frac{h^2}{2})$$

$$\approx R\omega\sqrt{1+h^2}$$

وتحدث أقصى سرعة للمكبس عند زاوية عمود الكرنك.

$$\phi = 90^\circ - 57.3^\circ h$$

ويوضح شكل (3-4) التغير فى سرعة المكبس مع زاوية عمود الكرنك.



شكل (3-4): التغير فى سرعة المكبس مع زاوية عمود الكرنك.

- السرعة المتوسطة للمكبس *The Mean Piston Speed*

يمكن حساب السرعة المتوسطة للمكبس من العلاقة:

$$\upsilon_{pm} = \frac{2SN}{60}$$

$$\upsilon_{pm} = \frac{SN}{30} = \frac{2\omega R}{\pi}$$

حيث: S = المشوار *Stroke*

N = سرعة عمود الكرنك *The rate of crankshaft rotation*

ω = السرعة الزاوية

υ_{pm}= السرعة المتوسطة للمكبس The Mean Piston Speed

-النسبة بين أقصى سرعة والسرعة المتوسطة :

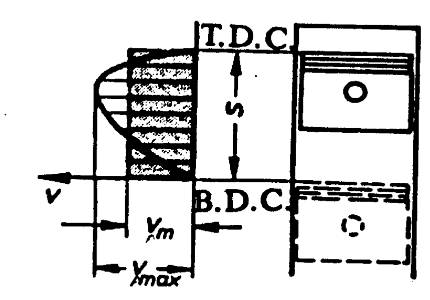
يمكن حساب النسبة بين أقصى سرعة والسرعة المتوسطة من العلاقة الآتية:

$$\frac{\upsilon_{p\,max}}{\upsilon_{pm}} = \frac{\pi}{2}\sqrt{1+h^2}$$

$$at \quad h = 0.24 \text{ to } 0.31$$

$$\upsilon_{p\,max} \cong 1.62 \text{ to } 1.64\,\upsilon_{pm}$$

ويوضح شكل (5-3) العلاقة بين مشوار المكبس وكل من أقصى سرعة للمكبس $\upsilon_{p\,max}$ والسرعة المتوسطة للمكبس υ_{pm}.



شكل (5-3): السرعة المتوسطة υ_{pm} وأقصى سرعة للمكبس $\upsilon_{p\,max}$

وفيما يلى القيم التقريبية للسرعة المتوسطة للمكبس (متر/ثانية m/sec) لبعض المحركات.

2 - 15	Carburetor engines for cars.	محرك سيارات بنزين
6.5 - 12	diesel engine for cars.	محرك ديزل للسيارات
5.5 - 10.5	Tractor diesel engine.	محرك ديزل الجرار
3 - 6	Marine slow speed diesel engine.	محرك سفن ديزل بطيئة السرعة

وبتغير سرعة المكبس المتوسطة يتأثر فاقد الاحتكاك وفاقد التبريد، فمثلاً عندما تزداد السرعة المتوسطة للمكبس يحدث ما يلى:

1- تزداد الإثارة Turbulence وكذلك الضغط داخل اسطوانة المحرك لحدوث الاحتراق بسرعة.

2- يزداد الاحتكاك بين المكبس والاسطوانة مما يولد كميات كبيرة من الحرارة لابد من امتصاصها.

3- تؤثر حرارة الاحتكاك على زيت التزييت وتقل لزوجته مما يؤثر على كفاءة التزييت.

4- يزيد معامل انتقال الحرارة من الغازات الساخنة داخل الاسطوانة إلى الوسيط المبرد مما يزيد من كمية فاقد التبريد.

ويمكن أيضا حساب النسبة بين سرعة المكبس عند اى نقطة والسرعة المتوسطة للمكبس من العلاقة:

$$\frac{\upsilon_x}{\upsilon_{pm}} = \frac{\pi}{2}\sin\phi\left[1+\frac{\cos\phi}{(1/h^2-\sin^2\phi)^{1/2}}\right]$$

- عجلة المكبس The Piston Acceleration

ويوضح شكل (6-3) التغير فى العجلة مع زاوية عمود الكرنك. ويمكن أيجاد العجلة بتفاضل معادلة سرعة المكبس بالنسبة للزمن يمكن الحصول على عجلة المكبس.

$$a_p = \frac{d\upsilon_p}{dt} = \frac{d\upsilon_p}{d\phi} \times \frac{d\phi}{dt}$$

$$a_p = R\omega^2 (\cos\phi + h \cos 2\phi)$$

واقصى قيمة لعجلة المكبس The maximum acceleration

$$a_{p\max} = R\omega^2 (1+h)$$

$$When \quad h < 0.25 \quad at\,\phi^\circ = 180$$

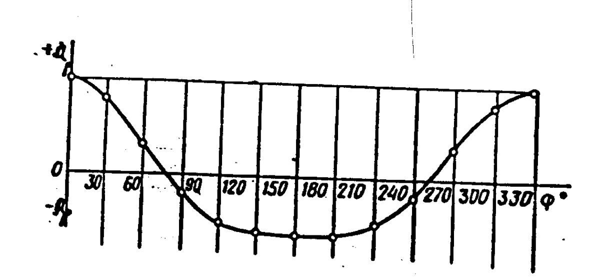
$$a_{p\max} = -R\omega^2 (1-h)$$

$$h < 0.25 \quad at\,\phi^\circ = arc\cos(-h/4)$$

وتحسب اقل

قيمة لعجلة المكبس من المعادلة الآتية:

$$a_{p\min} = -\omega^2 R[h + 1/(8h)]$$



شكل (6-3): التغير فى عجلة المكبس مع زاوية عمود الكرنك

3-4- الدورة الحرارية:

تعرف سلسلة العمليات التى تحدث فى اسطوانة المحرك باسم الدورة الحرارية، وهناك محركات تتم فيها الدورة الحرارية خلال أربعة أشواط من المكبس وتسمى محركات رباعية الأشواط، ومحركات تتم فيها الدورة الحرارية خلال شوطين من المكبس وتسمى محركات ثنائية الأشواط. وهناك طريقتان لعملية الاشتعال:

الطريقة الأولى: تستخدم خليط الوقود والهواء حيث يدخل الخليط إلى الاسطوانة نتيجة السحب الذى يحدثه المكبس فى أثناء حركته إلى أسفل عن طريق صمام السحب وبمجرد اقتراب المكبس مرة ثانية من النقطة الميتة العليا *TDC* ينغلق صمام السحب. وبالتالى ينضغط عليه الوقود والهواء فى حيز الانضغاط. ويشتعل الخليط بواسطة شرارة كهربائية. فتدفع الغازات المتمددة المكبس مرة أخرى إلى أسفل حتى النقطة الميتة السفلى. وتسمى محركات الاحتراق الداخلى التى تتبنى فكرة عملها على هذا المبدأ باسم محركات البنزين أو محركات الاشتعال بالشرارة وفيها يستخدم البنزين كوقود سريع التطاير، ويعمل أيضا تحت نفس الفكرة - محركات الكيروسين ومحركات الغاز، والمحركات المشتركة (غاز أو بنزين).

الطريقة الثانية: هناك محركات يعتمد عملها على مبدأ آخر، وفيها يسحب الهواء إلى الاسطوانة. ثم يضغط بنسبة انضغاط مرتفعة نتيجة تحرك المكبس إلى أعلى فينتج عن ذلك ارتفاع كبير فى درجة الحرارة. ويدفع الوقود عن طريق فوهة الحقن "الرشاش" إلى غرفة الاحتراق، حيث يختلط بالهواء المضغوط الموجود بها، فيشتعل هذا الخليط تلقائيا نتيجة للحرارة العالية الناشئة من الانضغاط. وتتمدد الغازات الناتجة من الاحتراق فتندفع أمامها المكبس ليؤدى شغله. وتسمى المحركات التى تبنى فكرة عملها على هذا المبدأ باسم محركات الاشتعال بالضغط أو محركات الديزل. ويوجد محركات تعرف باسم المحركات المختلطة (غاز- ديزل) تتبع هذه الفكرة فى تشغيلها.

ـ الدورة الحرارية للمحركات رباعية الأشواط Four stroke cycle Engines

أـ محركات الاشتعال بالشرارة Spark Ignition Engine

وتسمى محركات البنزين أو محركات أوتو *Otto* نسبة إلى العالم الألمانى أوتو الذى اكتشف هذه الدورة. وتستخدم وقود البنزين فى المحركات. ولتوضيح تلك الدورة مع محرك مكون من اسطوانة واحدة فقط وعليه يمكن إجراء الدورة الحرارية فى هذه الاسطوانة ويوضح شكل (3-7) حركة المكبس أثناء الأشواط الأربعة. كما يوضح شكل (3-8) منحنى التغير فى الضغط والحجم P-V curve داخل الاسطوانة أثناء الأشواط الأربعة.

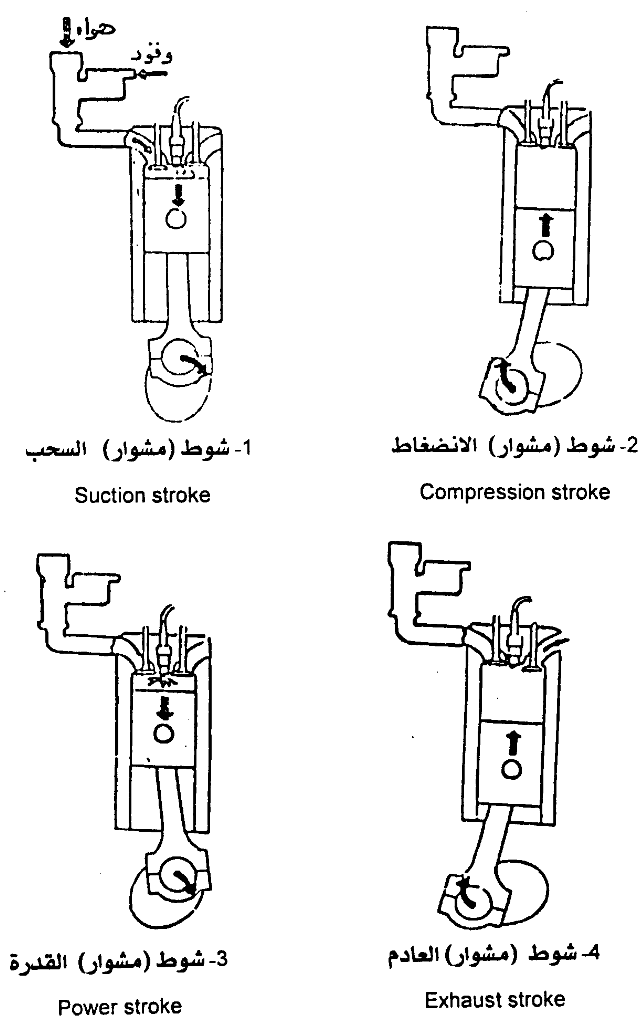
- شوط السحب *Suction (Intake) Stroke*

وفيه تتم حركة المكبس ابتداء من النقطة الميتة العليا متجها إلى أسفل وفى هذا الوقت يكون صمام السحب (الدخول) مفتوح والذى يندفع من خلاله إلى الاسطوانة مخلوط الهواء والبنزين والذى تم خلطه مسبقا خارج الاسطوانة فى بسرعة حتى يصل المكبس إلى النقطة الميتة السفلى. وقد تفوق قيمة سرعة دخول السحب إلى (100m/sec) ونظريا المفروض أن الضغط داخل الاسطوانة يساوى الضغط الجوى ولكن نتيجة حركة المكبس السريعة إلى أسفل ووجود فتحة صغيرة حول صمام السحب ينتج عنها تفريغ داخل الاسطوانة مما يؤدى إلى انخفاض الضغط أقل قليلا من الضغط الجوى (100 kPa) وكما هو واضح فى شكل (3-8) حيث يمثل الخط 1-2 شوط السحب، حيث تتراوح قيم الضغط أعلى المكبس ما بين 80 kPa إلى 90 kPa .

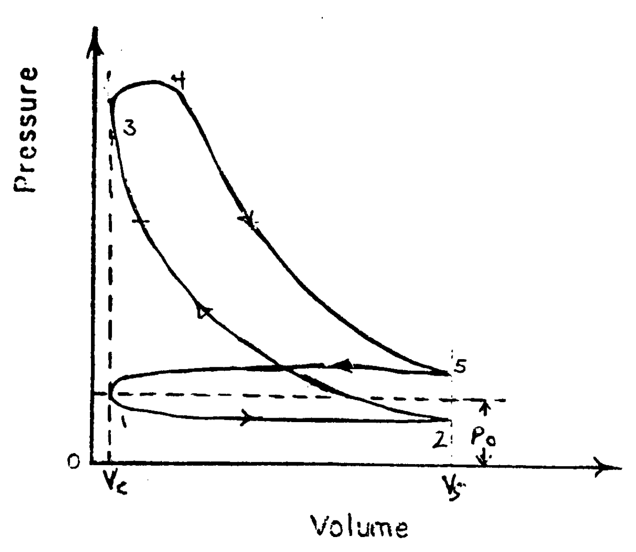
- شوط الانضغاط *Compression Stroke*

فى هذا الشوط يكون صمام السحب مغلق ويتحرك المكبس من النقطة الميتة السفلى متجها إلى أعلى. ونتيجة حركة المكبس إلى أعلى يقل حجم المخلوط ويزداد الضغط داخل الاسطوانة ويصل مقدار الضغط ما بين 1.2 MPa إلى 1.4 MPa والخط 2-3 فى منحنى الضغط والحجم يمثل شوط الانضغاط. وبالتالى ترتفع درجة حرارته على حسب القانون العام للغازات. وتكون درجة الحرارة فى نهاية هذا الشوط أقل بقليل من درجة الاشتعال الذاتى للمخلوط. ويمكن المساعدة على عملية

الاشتعال تحت حجم ثابت بإعطاء شرارة كهربائية من شمعة الاشتعال، ويتم الاشتعال تحت حجم ثابت الخط 3-4 (شكل 3-8) وينتج عن عملية الاشتعال غازات تحت ضغط عالي تحاول أن تضغط على سطح المكبس لتحريكه إلى أسفل.



شكل (3-7): الدورة الحرارية لمحركات الاشتعال بالشرارة رباعية الأشواط



شكل (3-8): منحنى التغير فى الحجم والضغط للدورة الحرارية
لمحركات الاشتعال بالشرارة رباعية الأشواط

الغرض من الانضغاط هو:

1- تبخير جزيئات الوقود نتيجة لارتفاع درجة الحرارة فى الاسطوانة.

2- خلط الوقود مع الهواء بشكل أفضل نتيجة للحركة الدوامية للغازات أثناء الانضغاط

3- تقارب جزئيات الوقود مع الهواء من بعضها فيتم الاحتراق بسرعة.

4- زيادة قدرة المحرك بازدياد ضغط الانضغاط.

- شوط التشغيل (القدرة) *Power Stroke*

ويسمى أحيانا بشوط التمدد Expansion Stroke أو الشوط الفعال. فنتيجة لضغط الغازات الناتجة عن عملية الاشتعال تتولد قوة كبيرة على سطح المكبس تحاول أن تحركه من النقطة الميتة العليا إلى النقطة الميتة السفلى (الخط 4-5) ويكون فى هذا الشوط كل من صمام السحب وصمام العادم مغلقين. وهذا هو الشوط

المفيد فى الدورة الحرارية والتى يستفاد به فى إدارة عمود الكرنك. والمفروض أن يستفاد بجزء من هذه الطاقة فى تشغيل الأشواط الأخرى (العادم- السحب- الضغط) كما سيتضح فيما بعد.

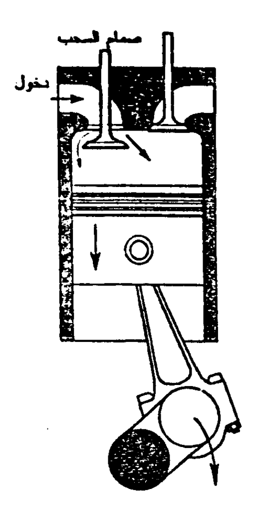
- شوط العادم *Exhaust Stroke*

نتيجة عملية اشتعال الوقود داخل الاسطوانة تتولد عنها غازات يجب التخلص منها أو يمكن الاستفادة من هذه الطاقة الحرارية لتسخين الوقود الذى يدخل إلى الاسطوانة فى الدورات التالية دورة حرارية أخرى جديدة. ويتم التخلص من الغازات الناتجة عن عملية الاشتعال عن طريق صمام العادم *Exhaust Valve* فعندما يصل المكبس قرب النقطة الميتة السفلى يتم فتح صمام العادم ويتحرك المكبس متجها إلى أعلى حتى يصل إلى النقطة الميتة العليا مزيحا أمامه الغازات المحترقة وعند نهاية المشوار يتم غلق صمام العادم لتبدأ دورة حرارية جديدة . ومن الملاحظ أن الضغط على منحنى *P-V* (الخط 5-1) يكون أعلى بقليل من الضغط الجوى نتيجة ضغط الغازات داخل الاسطوانة وأيضا حركة المكبس السريعة إلى أعلى ووجود فتحة صغيرة حول صمام العادم لتسرب الغازات من داخل المكبس مما يؤدى إلى ارتفاع الضغط إلى أعلى من الضغط الجوى. ومن الملاحظ أن عملية اشتعال الوقود تتم عند حجم ثابت. ويمكن أن تتم هذه العملية نتيجة الحركة السريعة للمكبس وأيضا مقدار التغير فى المسافة الرأسية للمكبس تعتبر مسافة صغيرة إذا ما قورنت بالمسافة فى وسط المشوار.

ب - الدورة الحرارية لمحركات الاشتعال بالانضغاط (محرك ديزل)

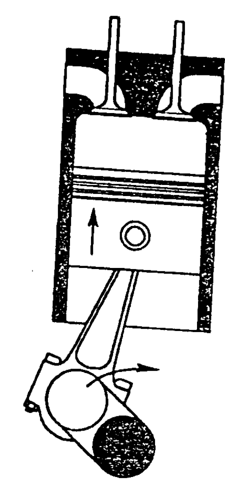
Combustion Ignition Engines C.I. (Diesel Engine)

وهذا النوع من المحركات يستخدم وقود الزيت (السولار) كوقود. ونظرا لاختلاف درجة تطاير الوقود المستخدم هنا عن المحركات السابقة فإن بها دورة حرارية مختلفة تماما عن السابقة و يوضح شكل (3-9) الأشواط الأربعة للدورة الحرارية لمحركات الديزل كما يوضح شكل (3-10) التغيرات فى الضغط والحجم داخل الاسطوانة.



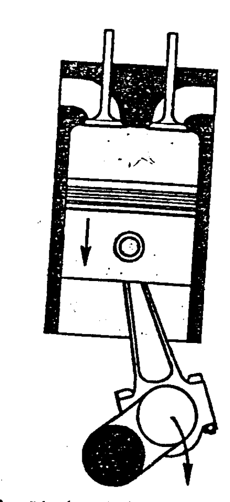
1- شوط (مشوار) السحب

Suction stroke



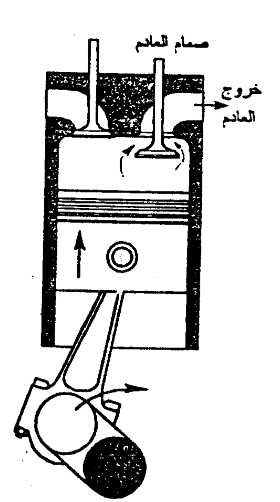
2- شوط (مشوار) الانضغاط

Compression stroke



3- شوط (مشوار) القدرة

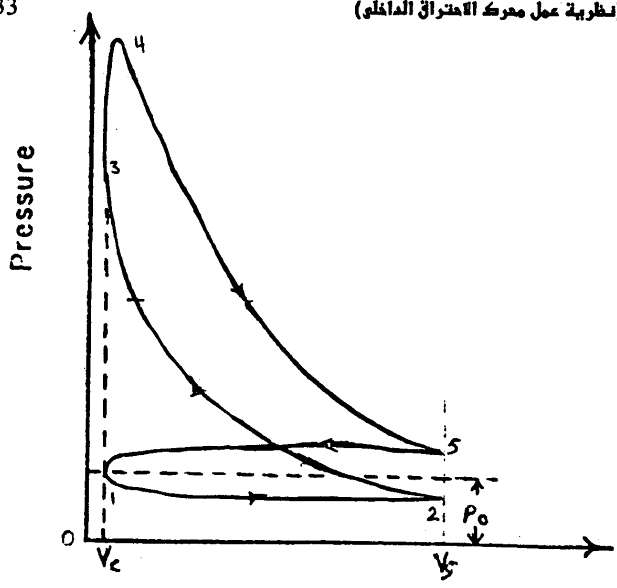
Power stroke



4- شوط (مشوار) العادم

Exhaust stroke

شكل (3-9): الدورة الحرارية لمحركات الاشتعال بالانضغاط رباعية الأشواط



شكل (3-10): منحنى التغير فى الحجم والضغط فى الدورة الحرارية لمحركات الاشتعال بالضغط - رباعية الأشواط

- شوط السحب Suction (Intake) Stroke

وفيه يتحرك المكبس من النقطة الميتة العليا متجها إلى أسفل وفى نفس الوقت يكون صمام السحب مفتوح ويدخل عن طريقة هواء فقط حتى يصل المكبس إلى النقطة الميتة السفلى وعندها يغلق صمام السحب. ويلاحظ هنا أن خط السحب يكون أقل من الضغط الجوى لنفس الأسباب التى ذكرت فى محركات الاشتعال بالشرارة.

- شوط الضغط Compression Stroke

يتحرك المكبس من النقطة الميتة السفلى متجها إلى أعلى وبهذا يقل حجم الهواء ويرتفع ضغطه بحيث يصل ما بين 3 *M Pa* إلى 4 *M Pa*. ونتيجة أن نسبة الكبس تكون أعلى فى محركات الديزل عن محركات البنزين فتصل درجة الحرارة فى نهاية مشوار الضغط إلى 900°C أى نحو ضعف درجة الحرارة فى محركات البنزين وبهذا فإن الهواء يصل إلى درجة حرارة تكفى للاشتعال الذاتى لوقود السولار، فعند

نهاية مشوار الضغط تقريبا يبدأ الرشاش فى إعطاء شحنة من الوقود (حقن الوقود) داخل الاسطوانة تحت ضغط عالى على هيئة رزاز صغير *Small Droplets* يختلط بالهواء الساخن والمضغوط تلقائياً وتنتج عملية الإشتعال تحت ضغط ثابت وينتج عنها غازات تحت ضغط عالى.

- شوط التشغيل (القدرة) *Power Stroke*

ويسمى أحياناً شوط التمدد Expansion stroke أو الشوط المفيد أو الفعال، وفيه يبدأ المكبس فى حركته من النقطة الميتة العليا متجها إلى أسفل نتيجة ضغط الغازات على المكبس حتى يصل تقريبا إلى النقطة الميتة السفلى. ونظرا لأن هذا الشوط هو المفيد فى الدورة الحرارية فيجب توفير جزء من هذه الطاقة الناتجة لاستخدامها للأشواط الأخرى مثل شوط العادم والسحب والضغط.

- شوط العادم *Exhaust Stroke*

نتيجة عملية الاشتعال يتولد غازات محترقة يجب التخلص منها قبل البدء فى دورة حرارية جديدة. فعندما يكون المكبس تقريبا عند النقطة الميتة السفلى يبدأ صمام العادم فى الفتح ونتيجة حركة المكبس إلى أعلى تزاح أمامه غازات العادم ونجد أيضا الضغط فى هذا المشوار أعلى بقليل من الضغط الجوى العادى لنفس الأسباب التى ذكرت فى محركات الاشتعال بالشرارة. ويلاحظ أن عملية الأشتعال تتم عند ثبوت الضغط وهذا يتم داخل الاسطوانة نتيجة الحركة السريعة للمكبس وأيضا مقدار التغير فى الحجم يعتبر تغيراً بسيطاً نسبيا.

طرق تكوين خليط الوقود والهواء فى محرك الديزل

لوحظ أثناء شرح الدورة الحرارية لمحرك الديزل رباعية الأشواط أن عملية خلط الوقود مع الهواء فى الفترة الزمنية الواقعة بين شوط الانضغاط وشوط القدرة وهو زمن قصير، ولذلك تم تطوير عدة طرق مختلفة للخلط لكى يتحقق خليط جيد وفى نفس الوقت احتراق تدريجى وذلك اعتماداً على تصميم وشكل غرفة الاحتراق Combustion Chamber وفيما يلى عرض لهذه الطرق.

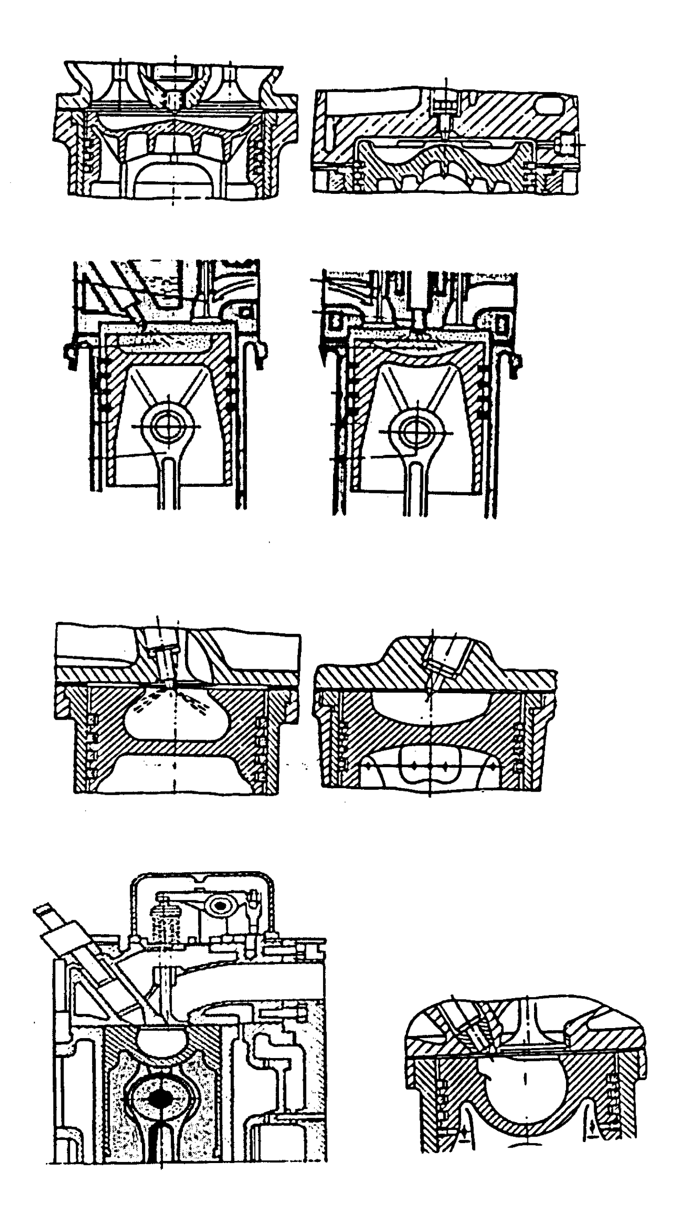
1- الحقن المباشر Direct Injection

يدل هذا المصطلح على أن الوقود يحقن مباشرة فى حيز الاحتراق، وفى هذا النوع يكون حيز الاحتراق (غرفة الاحتراق) فى تجويف على شكل دائرى فى سطح المكبس، ويحقن الوقود تحت ضغط عال مباشرة فى غرفة الاحتراق، من خلال رشاش متعدد الثقوب حيث ينتج عن ذلك تذرية الوقود جيد وتوزيع دقيق للوقود ويوضح شكل (3-11) نماذج من غرف الاحتراق المستخدمة للحقن المباشر للوقود. ويؤدى الاختلاف فى أشكال التجويف إلى اختلاف درجة الإثارة ودرجة التداخل. ففى النموذج (A) يتطلب الأمر رفع ضغط الحقن ليساعد على زيادة طول نافورة الوقود وبالتالى زيادة درجة الإثارة وتحسين درجة التداخل. وفى النموذج (B) يؤدى التجويف العميق إلى زيادة درجة الإثارة مما يمكن خفض ضغط الحقن اللازم. أما النموذج (C) فيؤدى التجويف الكروى يؤدى إلى تحسين درجة الإثارة عن النماذج السابقة وبالتالى خفض ضغط الحقن. ومن خواص غرف الحقن المباشر.

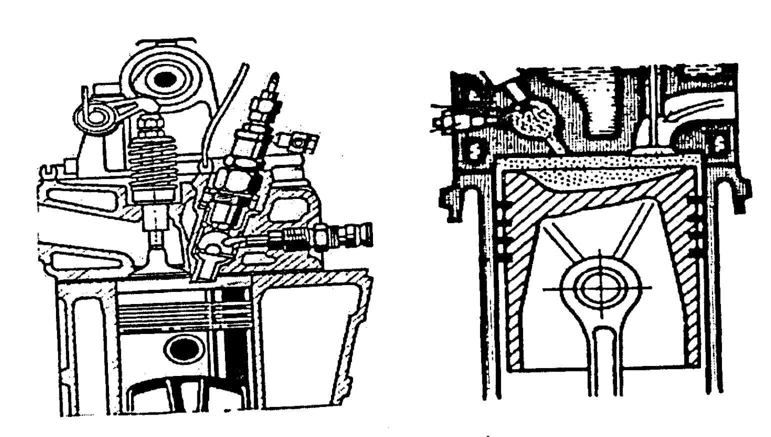
- تحتاج إلى ضغط عالى للحقن وبذلك يقوم تصميم الرشاش دقيق وغالى.
- كفاءة حرارية عالية حيث أن كمية الحرارة المنقولة من سطح المكبس أقل نظراً لأن نسبة سطح الغرفة إلى حجمها أقل ما يمكن.
- تتطلب نسبة صحيحة ودقيقة بين الهواء والوقود.
- سهولة بدء إدارة المحرك.

2- غرفة الاحتراق المتقدم Pre-Combustion Chambers

فى هذا النوع تكون غرفة الاحتراق المشكلة فى رأس الاسطوانات والمتصلة بحيز الانضغاط بواسطة فتحات (3-12) يحقن الوقود فى الهواء المضغوط بغرفة الاحتراق المتقدم ، حيث يحترق جزئياً بسبب عدم كفاية الأوكسجين ويتسبب ارتفاع الضغط الناشئ من الاحتراق فى تدفق الوقود غير المحترق إلى الاسطوانة حيث يختلط فيها جيداً بالهواء المتبقى ويحترق تماماً.



شكل (3-11) الحقن المباشر



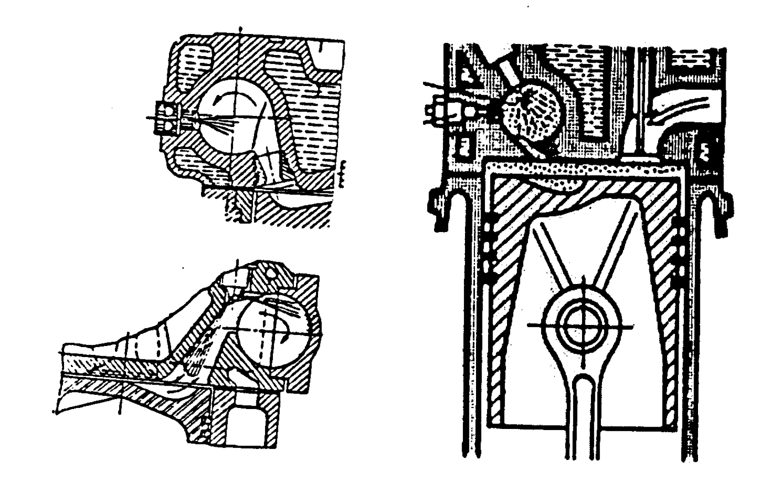
شكل (3-12) غرفة الاحتراق المتقدم

3- غرفة الاحتراق الدوامية: Turbulence Chambers

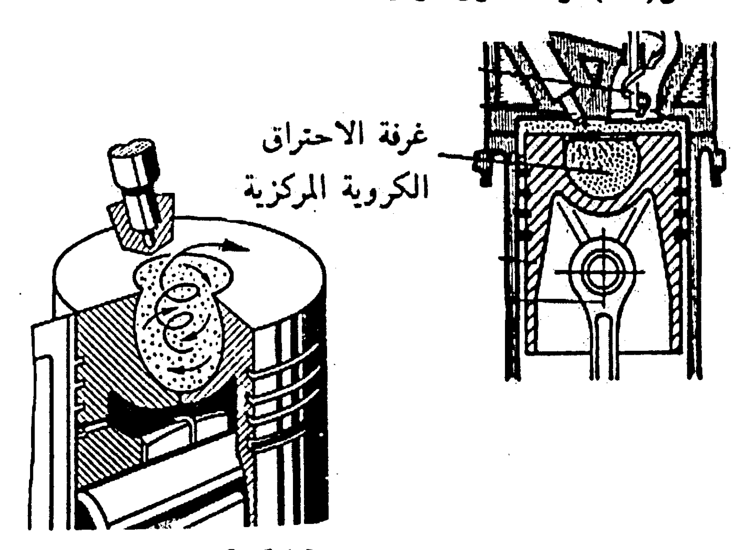
يكون التجويف كروى الشكل والجزء الأكبر من حيز الانضغاط، ويقع فى رأس الاسطوانات. ويتصل بالاسطوانة بواسطة قناة كما هو موضح فى شكل (3-13)، ويعمل شكل التجويف على تكوين غرفة كروية تعمل على إجبار الهواء على الدوران بها أثناء الانضغاط. وتنشأ عنه دوامة تعمل على تجزئة دقيقة للوقود المحقون وخلطه مع الهواء بشكل جيد.

4- غرفة الاحتراق الكروية المركزية

فى هذا النوع تكون غرفة الاحتراق كروية الشكل وتشكل فى منتصف سطح المكبس، ويعمل ذلك على إجبار الهواء على الدخول إلى الغرفة فى حركة دورانية. وفى هذا النوع يحقن الوقود فى الغرفة على جدرانها، حيث يتبخر الوقود ثم يختلط مع الهواء الدائر فى الحيز الكروى ويتم احتراق الخليط شكل (3-14).



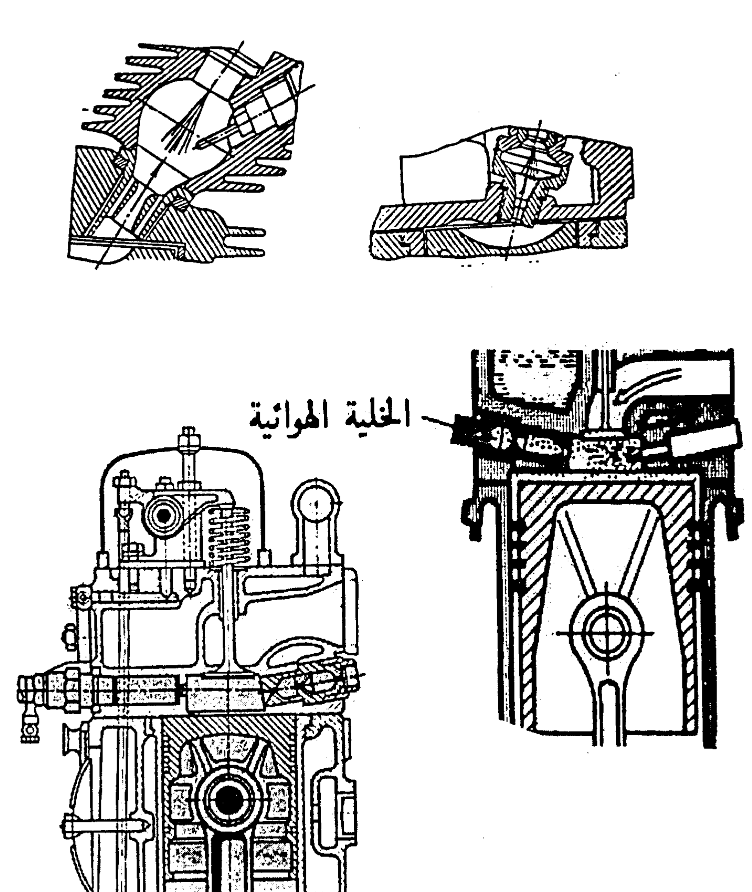
شكل (3-13) غرفة الاحتراق الدوامية Turbulence Chamber



شكل (3-14) غرفة الاحتراق الكروية المركزية

5- غرفة الاحتراق ذات الخلية الهوائية: Air Cell Chamber

يقسم حيز الخلوص إلى غرفة رئيسية وخلية طاقة (خلية هواء). وتقع الغرفة (حيز الانضغاط) الرئيسية أسفل صمام العادم (شكل 3-15)، حيث يصب فيها كل من منفث الوقود (الرشاش)، وفوهة خلية الطاقة، وتقع هاتان الفتحتان فى وضع متقابل. وتعتبر هذه الطريقة من الطرق القديمة وغير المستخدمة فى الوقت الحاضر.



شكل (3-15) غرفة الاحتراق ذات الخلية الهوائية Air Cell Chamber

3-5- توقيت فتح وغلق الصمامات Timing Values

تعرف عملية توقيت فتح وغلق الصمامات بأنها عملية تنظيم فتح وغلق الصمامات فى أوقات محددة من الدورة الحرارية. ففى الدورة المثالية نلاحظ أن عملية فتح وغلق صماما السحب والعادم تتم عند النقطتين الميتتين ولكن فى الدورة الحقيقية فإن عملية الغلق والفتح تتم قبل أو بعد وصول المكبس إلى النقطتين الميتتين.

يتم فتح وغلق الصمامات فى المحرك الرباعى طبقاً لنظام معين بحيث تتوالى فيه الدورات الحرارية مبتدئة من فتح صمام السحب حتى طرد غازات العادم عن طريق صمام العادم وتظهر هذه العملية شكل (3-16) فى لفتين من عمود الكرنك. وجميع نقاط التوقيت تقدر بالدرجات على الحدافة أو بالمم على مشوار المكبس قبل أو بعد النقطة الميتة العليا أو النقطة الميتة السفلى.

فأثناء شوط السحب يكون الضغط داخل الاسطوانة أقل من الضغط الجوى. ويصل المكبس إلى النقطة الميتة السفلى والشحنة لا تزال مندفعة بكمية حركة كبيرة. لذا يفضل أن يترك صمام السحب مفتوحاً لمدة أثناء حركة المكبس إلى أعلى حتى تمتلئ الاسطوانة بأكبر مقدار ممكن من الشحنة ويجب غلق صمام السحب عند نقطة تقاطع منحنى P-V مر خط الضغط الجوى وإلا فستهرب الشحنة لو تأخر الغلق من هذه النقطة. كذلك يستحسن فتح صمام العادم وصمام السحب معاً لمدة وجيزة يعبر عنها بفترة التداخل Overlap period وذلك كى نسمح لجزء من الشحنة بالهروب عبر صمام العادم مما يبرد غرفة الاحتراق ويكسح غازات العادم المتبقية أمامه فيساعد على تنظيف الغرفة. ويفتح صمام العادم قبل النقطة الميتة السفلى بمدة كافية كى يسمح للضغط بالهبوط إلى مستوى معقول أثناء شوط العادم.

ويلاحظ مما سبق أن فتح وغلق الصمامات فى المحرك الرباعى يتم طبقا لنظام معين ويعرف هذا بتوقيت فتح وغلق الصمامات *Timing Valve* حيث تتوالى

فيه الدورات الحرارية مبتدئه من فتح صمام السحب حتى طرد غازات العادم عن طريق صمام العادم. وتتم هذه العملية فى لفتان من عدد لفات عمود الكرنك ويمكن تلخيصها فى الاتى:

- عند النقطة 1 : يفتح صمام السحب So قبل النقطة الميتة العليا T.D.C ويكون هذا فى شوط العادم وذلك لضمان أن يكون صمام السحب مفتوح فى بداية شوط السحب لأقصى درجة ودخول أكبر كمية بالهواء أو المخلوط الى الاسطوانة.

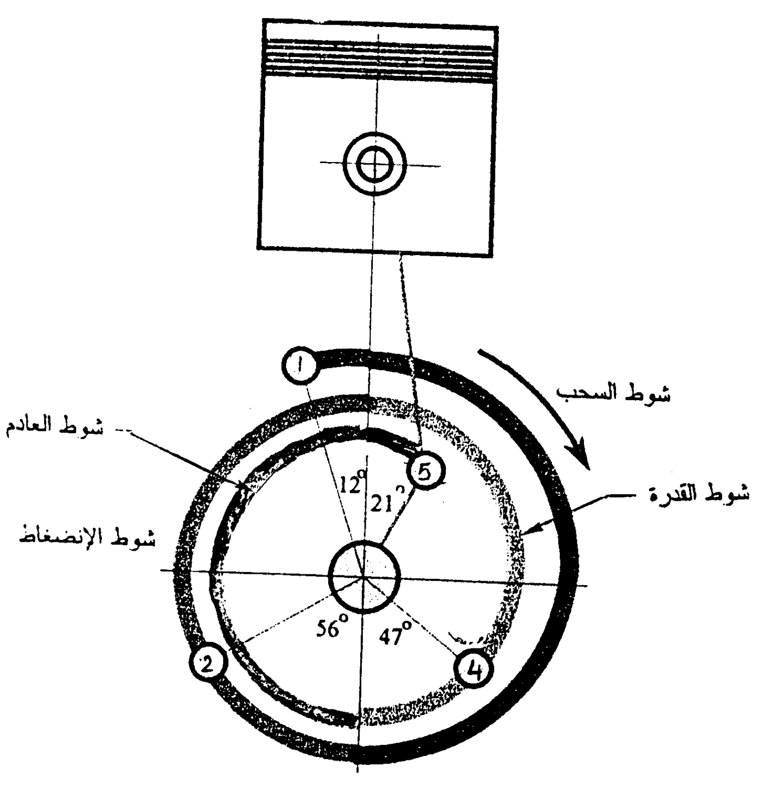
- عند النقطة 2 : يتم غلق صمام السحب عند النقطة الميتة السفلى B.D.C ويكون هذا فى شوط الضغط. وذلك لإعطاء فرصة لدخول أكبر كمية من الهواء أو المخلوط الى الاسطوانة عن طريق الطاقة الحرارية المكتسبة لحركة الغاز وذلك لرفع الكفاءة الحجمية للاسطوانة.

- عند النقطة 3 : يتم أعطاء الشرارة الكهربائية فى محركات البنزين (أشتعال بالشرارة) أو يتم حقن حقنة السولار فى الاسطوانة (فى محركات الأشتعال بالضغط) قبل النقطة الميتة العليا TDC وذلك لضمان عملية أشتعال الوقود قبل وصول المكبس فى بداية شوط التشغيل للحصول على أكبر قوة متولدة على المكبس لدفعه الى أسفل عندما يصل المكبس فى نهاية مشوارالضغط أو فى بداية شوط التشغيل.

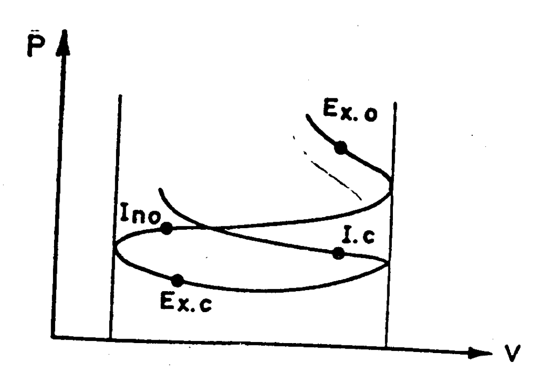
- عند النقطة 4 : يفتح صمام العادم فى نهاية شوط التشغيل قبل النقطة الميته السفلى وهذا للأستفادة من ضغط غازات العادم لتتسرب الى خارج الاسطوانة. ومن الملاحظ أن الضغط عند هذه النقطة هو ضغط ضعيف لأدارة عمود الكرنك ويمكن الأستفادة منه فى طرد غازات العادم.

- عند النقطة 5 : يغلق صمام العادم بعد النقطة الميتة العليا فى بداية شوط السحب وذلك لضمان خروج كل غازات العادم عن طريق دخول شحنة جديدة من الهواء أو المخلوط من صمام السحب.

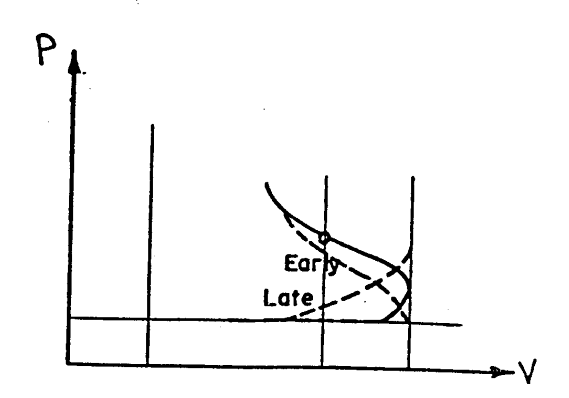
ويبين شكل (3-17) توقيت فتح الصمامات على منحنى P-V. يلاحظ أنه إذا كانت زاوية فتح صمام العادم أكبر من اللازم بمعنى أنه فتح مبكر Early opening نتج عن ذلك فقد الشغل المبذول لأن المساحة الموجبة ستقل فى منحنى P – V. وإذا كانت زاوية فتح صمام العادم أصغر من اللازم بمعنى فتح متأخر Late Opening لصمام العادم نتج عن ذلك زيادة المساحة السالبة فى منحنى P – V مما يؤدى إلى فقد كبير فى الشغل المبذول. ويوضح شكل (3-18) أثر توقيت الصمامات على منحنى P – V. وتوضح الأشكال (3-19، 3-20) نماذج مختلفة لتوقيتات فتح وغلق الصمامات محركات رباعية الأشواط.



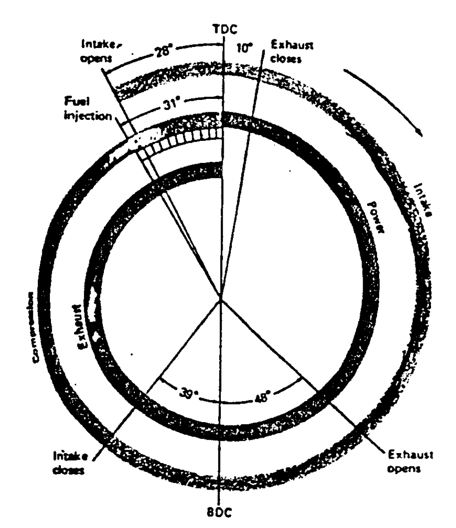
شكل (3-16): توقيت فتح وغلق الصمامات



شكل (3-17): فتح وغلق الصمامات على منحنى الـ P - V

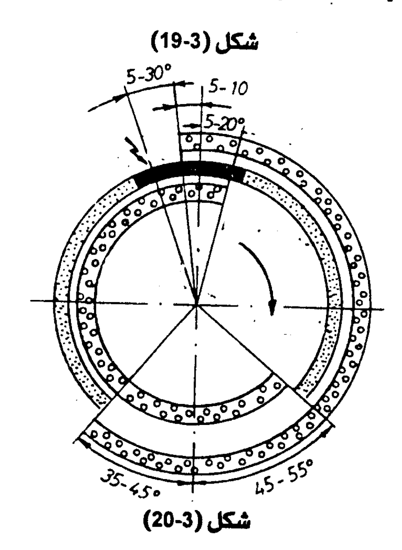


شكل (3-18): اثر الفتح المبكر والمتأخر لصمام العادم على منحنى الـ P - V



Valve and fuel-injection timing for a diesel engine.

شكل (3-19)



شكل (3-20)

6-3- محركات الشحن الزائد " التشحين " *Supercharging*

كلما شحنت اسطوانة المحرك بكميات كبيرة من الهواء والوقود الممكن حرقه كلما زادت قدرة المحرك، ومن اليسير إدخال كمية كبيرة نسبيا من الهواء. وليس إدخال الهواء فى الاسطوانة أمرا يسيرا.

فعند هبوط المكبس فى شوط السحب يحدث تفريغ جزئى فى الاسطوانة، اى ينخفض الضغط داخل الاسطوانة عن الضغط الجوى خارجها، ويعمل الضغط الخارجى (الضغط الجوى) على دفع الهواء فى الاسطوانة لملئها. فإذا كان الضغط الخارج أعلى من الضغط الجوى فتملأ الاسطوانة بضغط أعلى. وتكون النتيجة ملىء الاسطوانة بهواء أكثر. وهذا تماماً ما يقصد بعملية الشحن الزائدة *Supercharging* فهى عملية شحن الاسطوانة بكمية زائدة من الهواء لزيادة قدرة المحرك. وتتم عملية الشحن الزائد باستعمال مضخة هواء تعمل على سحب الهواء الجوى المحيط بها وتضغطه إلى ضغط مرتفع يزيد على الضغط الجوى بقليل.

الغرض من الشحن الزائد: الغرض الأول هو الحصول على قدرة أكبر من المحرك لتغذيته بكمية أكبر من الهواء (وكميه أكبر من الوقود كذلك) عما لو شحنت الاسطوانة مباشرة من الهواء الجوى كما هى العادة. أما الغرض الثانى فهو تعويض ما يفقد من القدرة باستعمال المحرك فى الأماكن المرتفعة عن سطح البحر. باستعمال الشحن الزائد يمكن رفع الضغط الجوى المنخفض إلى ما يعادل الضغط فى مستوى البحر وبناءً على ذلك تزيد قدرة المحرك. ويوجد ثلاثة نظم للشحن الزائد:

أ- ضاغط هواء يدار بواسطة المحرك *An Engine Driven Compressor*

فى هذا النظام شكل (3-21) تصل الحركة إلى ضاغط الهواء عن طريق ترس يأخذ حركته من عمود الكرنك.

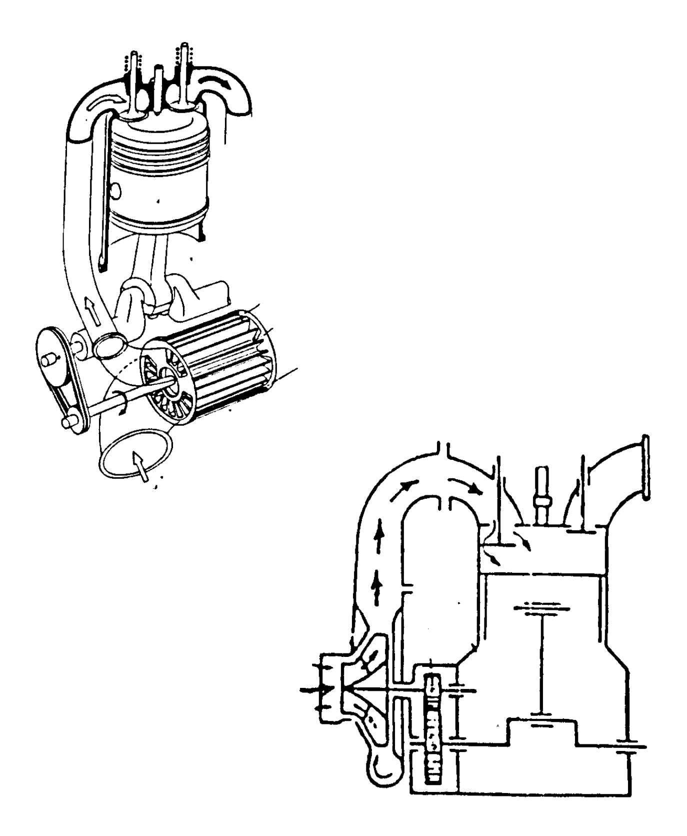
ب- ضاغط يدار بواسطة غازات العادم *A Turbo-compressor*

ويعتمد هذا النظام شكل (3-22) على الاستفادة من الطاقة الخارجة مع غازات العادم حين يوجد ضاغط عادم عند مخرج غازات العادم. وفى مدخل السحب

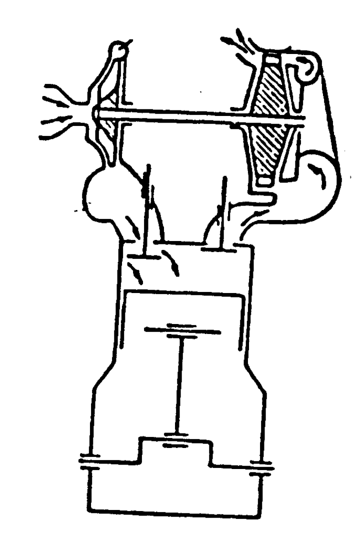
ضاغط السحب يركب على عمود مشترك مع ضاغط العادم. حينما تعمل غازات العادم أثناء خروجها على إدارة الضاغط الموجود عند فتحة خروج غازات العادم التى تعمل بدورها على إدارة ضاغط السحب.

جـ - النظام المركب من النظامين السابقين *A Combination System*

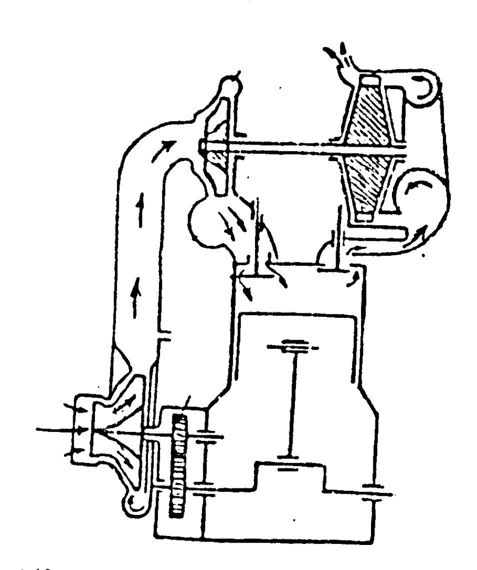
هذا النظام يجمع بين النظامين السابقين شكل (3-23) وترتفع درجة حرارة المحرك نتيجة للشحن الزائدة لذلك تحتاج بعض هذه المحركات إلى نظام تبريد لتقليل الحرارة الناتجة عند تشغيل الشحن الزائد.



شكل (3-21): عملية الشحن الزائد تتم بواسطة عمود الكرنك



شكل (3-22): عملية الشحن الزائد تتم بواسطة غازات العادم



شكل (3-23): عملية الشحن الزائد تتم بواسطة كلا من عمود الكرنك وغازات العادم

7-3- خصائص الدورة الرباعية الأشواط (Four-Stroke Cycle)

(أ) عملية السحب Intake Stroke

كما أوضحنا سابقاً أنه فى مشوار السحب تندفع الشحنة (هواء فقط فى محركات الديزل وهواء وبنزين فى محركات البنزين) ومن الناحية النظرية يكون المفروض أن الضغط داخل الاسطوانة يساوى الضغط الجوى ولكن نتيجة حركة المكبس السريع إلى أسفل ينتج عن ذلك تفريغ داخل الاسطوانة مما يؤدى إلى انخفاض الضغط قليلاً عن الضغط الجوى. على ذلك فيحسب الضغط ودرجة الحرارة فى بداية مشوار السحب كقيمة مماثلة للهواء الجوى. وذلك فى محركات السحب الطبيعى. (شكل A 24-3)

ضغط الهواء الجوى $P = 0.1$ MPa

درجة حرارة الجو $T = 20°$ C (293°K)

عند استخدم الشحن الزائد Supercharging شكل (B 24-3) فلا يستخدم الضغط الجوى ودرجة حرارة الجو. فيكون الضغط هو ضغط المضخة الهوائية P_c وتؤخذ كنسبة من قيمة الضغط الجوى على النحو التالى:

$$P_c = 1.5 \sim 2.5\ P_o$$

ويتوقف ذلك على نوع الشاحن

$P_c = 1.5\ P_o$ for low supercharging

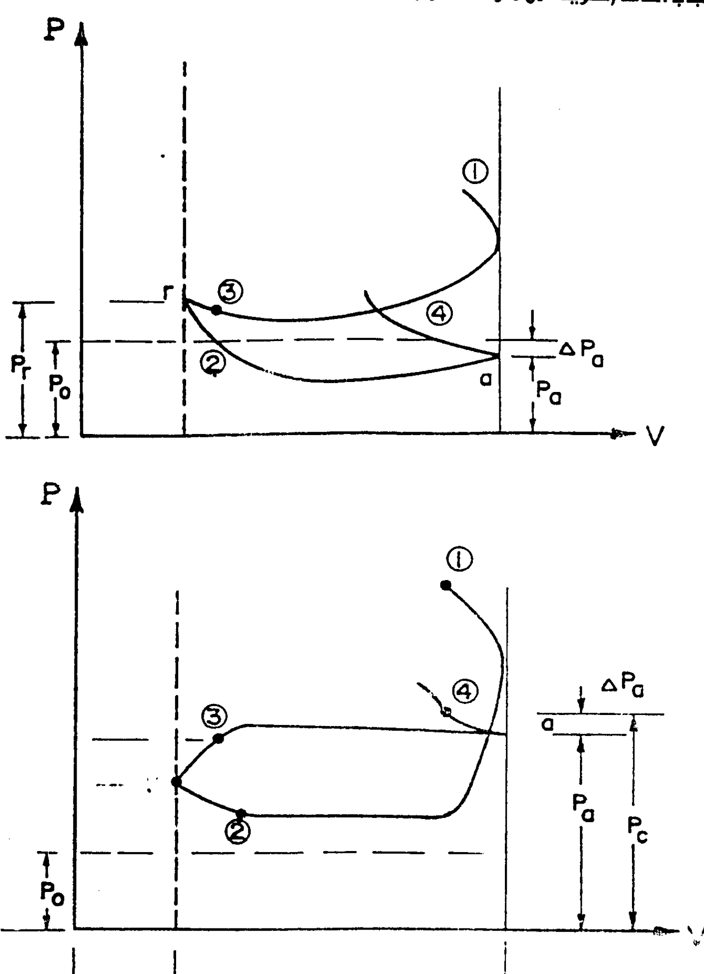
$P_c = 1.5$ to $2.2\ P_o$ for average supercharging

$P_c = 2.2$ to $2.5\ P_o$ for high supercharging

وتكون درجة الحرارة هى درجة حرارة الهواء الخارج من المضخة الهوائية T_c The compressor outlet air temperature وتعتمد درجة حرارة الهواء الخارج من المضخة على ضاغط المضخة ونوعها.

$$T_c = T_o\,(P_c/P_o)^{(nc-1)/nc}$$

حيث nc معامل يتراوح بين 1.4 إلى 2 ويعتمد على نوع المضخة الهوائية على النحو التالى:



Points 1 and 3 the exhaust and inlet valves begine to open .
" 2 " 4 the " " " " " " close .

شكل (3-24): عمليات السحب والعادم على منحنى P-V

(A) السحب الطبيعى (B) الشحن الزائد

n_c = 1.40 – 1.6

piston type supercharge للشاحن الترددى

= 1.55 – 1.75

positive displacement supercharge الشاحن موجب الإزاحة

= 1.40 – 2

axial – flow and centrifugal superchargers

الشاحن ذات السريان المحورى والطارد المركزى

- ضغط الغازات المتبقية Residual gases

عند بداية شوط السحب وعندما يكون المكبس عند النقطة الميتة العليا يكون هناك غازات متبقية يعتمد ضغط هذه الغازات P_r على:

- مقاومة سريان دخول الشحنة.
- مقاومة سريان خروج العادم.
- توقيت فتح وغلق الصمامات.
- سرعة المحرك.
- نسبة الحمل.
- نظام التبريد وكفاءته.

وتعتمد قيمة ضغط الغازات المتبقية P_r على الضغط فى بداية شوط السحب وتحسب كنسبة من الضغط الجوى ويكون فى المحركات العادية على النحو التالى:

$$P_r = 1.05 \text{ to } 1.25\ P_o$$

ويتأثر ضغط الغازات المتبقية بسرعة المحرك.

$$P_r = 1.035\ P_o + (P_{rn} - 1.035\ P_o)\left(\frac{N}{N_n}\right)^2$$

Where Prn: the pressure of residual gases in nominal mode of operation

الضغط للغازات المتبقية عند التشغيل العادى "MPa"

Nn : the engine speed under nominal operating conditions, r.p.m

سرعة المحرك عند التشغيل العادى

ضغط الغازات المتبقية للمحركات ذا ت الشاحن Supercharged engine:

$$Pr = (0.75 \text{ to } 0.98)Pc$$

- درجة حرارة الغازات المتبقية Temperature of Residual Gases

تعتمد درجة الحرارة على نوع المحرك ونسبة الانضغاط والسرعة ونسبة زيادة الهواء Excess air factor وتقدر الحرارة الغازات المتبقية Tr:

محرك البنزين	carburetor engine	900 - 1000°K
الديزل	diesel engine	600 - 900°K
المحرك الغازى	gas engines	750 - 1000°K

- درجة تسخين الشحنة Fresh Charge Preheating Temperature

خلال دخول الشحنة تتعرض إلى تسخين مبدئى من خلال اجراء المحرك الساخنة. وقيمة الارتفاع فى درجة الحرارة ΔT تعتمد على:

- وضع وتكوين ماسورة الدخول Intake Manifold
- طريقة التبريد.
- استخدام المسخن Special preheater من عدمه.
- سرعة المحرك.
- استخدام Supercharging.

ويؤدى هذا التسخين إلى تبخر الوقود ولكن يقلل من كثافة التسخين وبالتالى يؤثر على الكفاءة الحجمية Volumetric efficiency.

وفيما يلى قيم درجة حرارة التسخين المبدئى Preheating temperature ΔT للمحركات المختلفة:

وقيمة التسخين المبدئى.

محرك بنزين	carburetor engine	0 to 20
محرك ديزل	Diesel engine	10 to 40
محركات الشحن الزائد	supercharged engines	- 5 to 10

ويلاحظ ان ΔT محركات الشحن الزائد Supercharged منخفضة والسبب فى ذلك يرجع إلى أن الفرق فى درجة حرارة التسخين واجراء المحرك أقل منها فى المحركات الأخرى. وعندما ترفع درجة حرارة التسخين الخارجة من Supercharged تستخدم القيمة السالبة.

- الضغط فى نهاية شوط السحب Pressure at the end of suction stroke

يمثل الضغط فى نهاية شوط السحب Pa العامل الرئيسى لتحديد مقدار الشغل المبذول فى الدورة الحرارية. ويتوقف قيمته على الفاقد فى الضغط خلال المقاومات (الفاقد فى الصمامات وفى فلتر الهواء وأيضاً فى المغذى فى محركات البنزين) على النحو التالى:

$$P_a = P_o - \Delta P_a$$

Where P_o = atm pressure الضغط الجوى

ΔP_a = pressure losses due to resistance

الفاقد فى الضغط خلال المقاومات

وتتراوح قيمة ΔP_a للمحركات الرباعية الأشواط به

(0.05 to 0.20) Po	Carburetor engine	لمحرك البنزين
(0.03 to 0.18) Po	Diesel engine	لمحرك الديزل

ومن الأرقام السابقة نلاحظ أن ΔP_a فى محركات الديزل أقل منها فى محرك البنزين عند نفس السرعة، ويرجع ذلك إلى انخفاض المقاومة الهيدروليكية أثناء السحب لعدم وجود كاربيراتير Carburetor وانخفاض طول ماسورة دخول الشحنة. وتحسب قيمة ΔP_a للمحركات ذات Supercharger من المعادلة الآتية:

$$\Delta P_a = (0.04 - 0.1)\, P_c$$

- معامل الغازات المتبقية The Coefficient of Residual Gases

معامل الغازات المتبقية γ_r يكون مؤشر إلى خلو الاسطوانة من مخلفات الاحتراق. فى المحركات الرباعية المشاوير قيمة γ_r تعتمد على نسبة الانضغاط وسرعة المحرك.

فبزيادة نسبة الانضغاط ودرجة حرارة الغازات المتبقية T_r تقل قيمة γ_r بينما بزيادة الضغط Pr والسرعة تزيد قيمة γ_r، وتتراوح قيمة γ_r على النحو التالي:

لمحرك البنزين والمحرك الغازى	gas and gasoline engine	0.04 – 0.10
لمحرك الديزل	diesel engine	0.02 – 0.05

أما عند استخدام Supercharged فيقل معامل الشحنة عند هذه القيم.

- درجة الحرارة فى نهاية شوط السحب Temperature at the end of Induction

تعتمد درجة الحرارة فى نهاية شوط السحب بصفة رئيسية على درجة حرارة الوسط – بمعنى آخر عن التبريد. وعلى معامل الغازات الباقية γ_r وعلى قيمة التسخين المبدئى ΔT. درجة الحرارة فى نهاية شوط السحب Ta تؤخذ فى الاعتبار عند حساب الاتزان الحرارى للمحرك، وفى المحركات رباعية الأشواط تكون درجة الحرارة فى نهاية شوط السحب على النحو التالى:

لمحرك بنزين	Carburetor engine	320 - 370°K
لمحرك ديزل	Diesel engine	310 - 350°K
لمحرك شحن زائد	supercharged engines	320 - 400°K

(ب) عملية الانضغاط Compression Process

فى محركات البنزين تكون درجة حرارة الشحنة أقل من درجة الاشتعال الذاتى للبنزين ويمكن المساعدة على اتمام عملية الاشتعال باعطاء شرارة كهربائية من شمعة الاحتراق. أما فى محركات الديزل فتتوقف درجة الحرارة على نسبة الكبس وتكون فى نهاية الشوط وقبل حقن الوقود أعلى قيمة لها وتكفى درجة الحرارة هذه للاشتعال الذاتى للوقود الديزل (السولار) والذى يندفع من خلال رشاش إلى غرفة الاحتراق، حيث يختلط بالهواء المضغوط فيشتعل هذا الخليط تلقائيا نتيجة للحرارة العالية. ويلاحظ أن عملية الانضغاط Compression process تنقسم إلى جزئين – الجزء الأول تنتقل فيه الحرارة من جدران الاسطوانة إلى الشحنة وفى نهاية هذا الجزء تكون درجة حرارة الشحنة

مساوية لدرجة حرارة جدران الاسطوانة. حيث يبدأ الجزء الثانى وفيه تنتقل الحرارة من الشحنة إلى جدران الاسطوانة.

الضغط ودرجة الحرارة فى نهاية عملية الانضغاط

Pressure and Temp at the End of compression process

يمكن تعيين الضغط ودرجة حرارة الشحنة فى نهاية عملية الانضغاط طبقاً للمعادلات الآتية:

$$P_b = P_a \, CR^n$$
$$T_b = T_a \, CR^{n-1}$$

وتتراوح قيمة الضغط فى نهاية عملية الانضغاط على النحو التالى:

P_b = 0.9 to 2.0 MPa Carburetor engine فى محرك البنزين

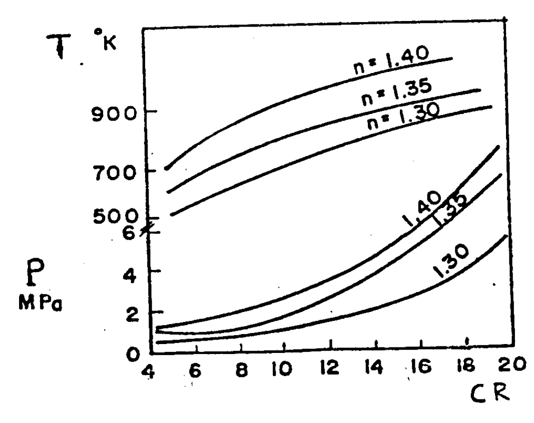
P_b = 3.5 to 5.5 MPa diesel engine فى محرك الديزل

أما درجة الحرارة فى نهاية عملية الانضغاط فتكون

T_b = 600 to 800°K Carburetor engine لمحرك البنزين

T_b = 700 to 900°K diesel engine لمحرك الديزل

ويوضح شكل (3-25) التغير فى قيم الضغط ودرجة الحرارة فى نهاية عملية الانضغاط مع التغير فى نسبة الكبس أو الانضغاط.



شكل (3-25): التغير فى قيم الضغط ودرجة الحرارة فى نهاية عملية الانضغاط

(جـ) عملية الاحتراق Combustion Process

عند حقن قطرة الوقود فى الهواء الساخن الموجود داخل وعاء معزول تبدأ الحرارة فى الانتقال من الهواء الساخن إلى الوقود السائل فتنخفض درجة حرارة الهواء فى حين ترتفع درجة حرارة الوقود بسرعة وينخفض الضغط داخل الاسطوانة وفى هذه الأثناء يتبخر الوقود Evaporation وتسمى هذه الفترة بعطلة الاشتعال Delay period أو المرحلة الفيزيقية Physical phase

الضغط ودرجة الحرارة فى نهاية عملية الاحتراق:

Pressure and Temperature at the End of Combustion

فى المحركات الحديثة وتحت ظروف الحمل الكامل Full load تكون درجات الحرارة فى نهاية الاحتراق على النحو التالى:

2400	to	2900°K	Carburetor engine	محرك بنزين
1800	to	2300°K	Diesel engine	محرك ديزل
2400	to	2500°K	Gas engine	محرك غازى

انخفاض درجة الحرارة فى محرك الديزل بالمقارنة بمحركات البنزين والمحرك الغازى وهذا يرجع إلى معامل زيادة الهواء. وانخفاض معامل الاستفادة من الحرارة. وتحت نفس الظروف يكون الضغط فى نهاية الاحتراق على النحو التالى:

3.5	to	7.5	MPa	Carburettor engine	محرك بنزين
5.5	to	12.5	MPa	Diesel engine	محرك ديزل
2.5	to	5	MPa	Gas engine	محرك غازى

(د) عملية التمدد Expansion Process

بعد حدوث الاحتراق ينتج عن عملية الاحتراق غازات تحت ضغط عالى تتولد قوة كبيرة على سطح المكبس تؤدى إلى تحركه إلى أسفل حتى يصل المكبس إلى النقطة الميتى السفلى BDC وهذه العملية يطلق عليها شوط التشغيل Power Stroke وهو الشوط الفعال المفيد فى الدورة الحرارية. ويعرف أيضاً بشوط القدرة حيث يتم

فيه تحويل الطاقة الحرارية الناتجة من احتراق الوقود إلى طاقة ميكانيكية على عمود الكرنك.

وتعتمد عملية التمدد على التبادل الحرارى Heat exchange بين الغازات وجدران الاسطوانة وتعتمد أيضاً على كمية الحرارة المضافة بعد الاحتراق.

أ- الضغط ودرجة الحرارة فى نهاية عملية التمدد.

قيمة الضغط فى نهاية عملية التمدد تكون على النحو التالى

0.35 to 0.60	MPa	Carburetor engine
0.20 to 0.50	MPa	Diesel engine

أما درجة الحرارة فى نهاية عملية التمدد فتكون :

1200 to 1700°K	Carburetor engine	محرك البنزين
1000 to 1200°K	Diesel engine	محرك الديزل

(هـ) عملية خروج العادم Exhaust Process

فى عملية خروج العادم يتحرك المكبس من النقطة الميتة السفلى BDC صاعداً إلى أعلى حتى يصل إلى النقطة الميتة العليا TDC مزيحاً أمامه الغازات المحترق، ويكون صمام العادم مفتوح أثناء صعود المكبس. ويكون الضغط أعلى بقليل من الضغط الجوى نتيجة ضغط الغازات داخل الاسطوانة وتكون سرعة خروج العادم 600m/sec إلى 700m/sec. وذلك عندما يكون المكبس بالقرب من النقطة الميتة السفلى BDC حيث يخرج من 60% إلى 70% من غازات العادم. وعندما يتجه المكبس إلى أعلى تكون السرعة 200 m/sec إلى 250 m/sec. وفى نهاية المشوار لا تزيد السرعة عن 60m/sec إلى 100 m/sec وعلى العموم تكون السرعة المتوسطة لخروج غازات العادم تحت ظروف التشغيل العادية من 60 m/sec إلى 150m/sec، وبانتهاء شوط العادم يكون عمود الكرنك قد دار لفتين لاتمام دورة حرارية واحدة.

3-8- الدورات الحرارية للمحركات ثنائية المشوار Two Stroke Petrol Engine

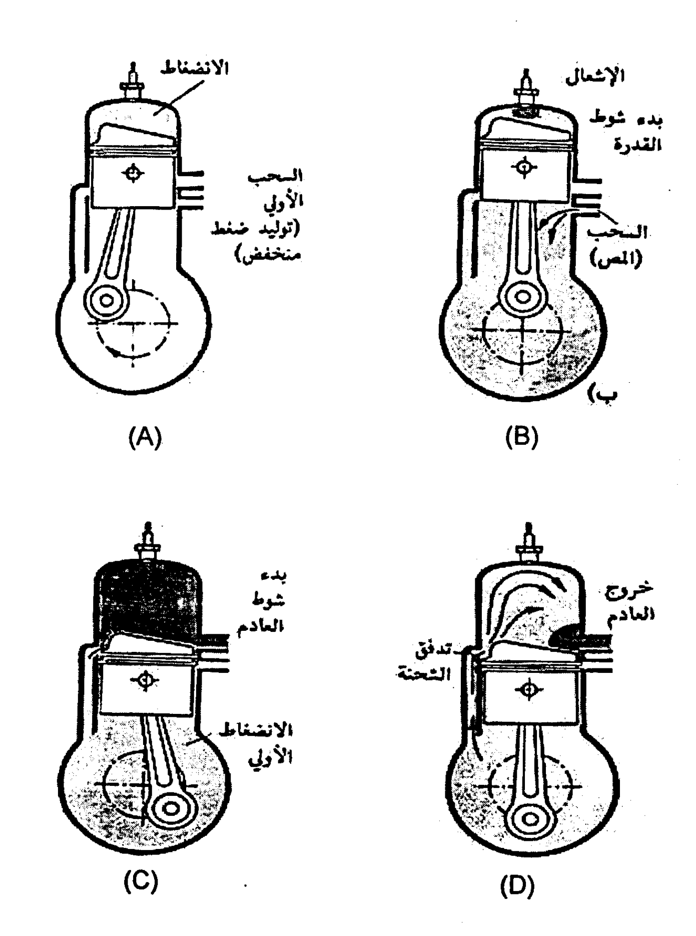
فى هذا النوع من المحركات تتم الدورة الحرارية خلال لفة واحدة لعمود الكرنك بينما يلزم فى المحرك رباعى الأشواط اتمام لفتين لعمود الكرنك. على ذلك فالمحرك يدمج الأشواط الأربعة بالدورة الحرارية فى شوطين (لفة واحدة لعمود الكرنك) لذلك فإن هناك أشواط تحدث أعلى المكبس وأشواط تحدث أسفل المكبس.

أ - محركات البنزين (الاشتعال بالشرارة)

يمكن ايجاز طريقة عمل المحرك الثنائى فى شوطين:

الشوط الأول: وفيه يتحرك المكبس من النقطة الميتة السفلى متجهاً إلى أعلى إلى النقطة الميتة العليا (شكل 3-26 A) واثناء ذلك تتم عمليتى السحب الأولى والضغط. فعندما يكون المكبس عند النقطة الميتة السفلى يتم دخول مخلوط الهواء والوقود من الفتحة الجانبية للسحب إلى داخل علبة الكرنك وتسمى هذه العملية بعملية السحب الأولى (شكل 3-26 B)، وعندما يتحرك المكبس إلى أعلى متجها إلى النقطة الميتة العليا فإن المكبس يغطى فتحة السحب أولا ثم الطرد ثانيا. وبعد ذلك يبدأ شوط الضغط إلى أن يصل المكبس قريبا من النقطة الميتة العليا فيرتفع ضغط المخلوط وترتفع درجة حرارته أيضا.

الشوط الثانى: تعطى الشرارة الكهربائية من شمعة الاشتعال فيشتعل المخلوط ويتولد عنه غازات تحاول أن تضغط على المكبس لتحركه إلى أسفل وينتج عنه شوط التشغيل. وقبل وصول المكبس إلى لنقطة الميتة السفلى بقليل تفتح فتحة خروج العادم فتتسرب غازات العادم (شكل 3-26 C) واثناء تحرك المكبس إلى أسفل تغلق فتحة السحب فتنضغط الشحنة داخل علبة الكرنك وتسمى هذه العملية بعملية الانضغاط الأولى (شكل 3-26 D) بعد ذلك يفتح المكبس مجرى التوصيل ثم يبدأ دخول المخلوط من الفتحة السفلى فتدخل الشحنة إلى الاسطوانة طاردة بقايا غازات العادم حيث يحدث عملية السحب الثانية نتيجة زيادة ضغط الشحنة فى علبة الكرنك عن الضغط فى حيز الاسطوانة.



شكل (3-26): الدورة الحرارية لمحرك الاشتعال بالشرارة - ثنائي الأشواط

ويلاحظ أيضا أن فتحة العادم أعلى بقليل من فتحة السحب وذلك لضمان التخلص من العادم عن طريق كبس المخلوط إلى الاسطوانة مما يترتب عليه فقد جزء من المخلوط مع غازات العادم وبالتالى تقل الكفاءة الحرارية لهذا النوع من المحركات بسبب فقد جزء من الوقود عن طريق فتحة العادم. أما من مميزات هذا النوع من المحركات فهى تمتاز بقلة الأجزاء المتحركة المستخدمة فى عملية فتح الصمامات وغلقها مما يجعل سعر هذه المحركات أقل من المحركات رباعية المشوار.

وأيضا نجد أن الدورة الحرارية تتم فى لفة واحدة من لفات عمود الكرنك أى أن شوط التشغيل يحدث كل لفة إذا كان المحرك به اسطوانة واحدة. ومما سبق يمكن استخلاص أنه إذا تساوى محركان أحدهما ثنائى والآخر رباعى المشوار فى عدد الاسطوانات وفى الشغل الناتج من كل منهما فإن القدرة المتولدة من المحرك الثنائى تكون ضعف القدرة المتولدة من المحرك الرباعى المشوار.

يوضح شكل (3-27) الدورة الحرارية لمحرك ثنائى الأشواط على منحنى P-V. فعند نقطة (1) تغلق الاسطوانة كلية ويبدأ الانضغاط الخط 1-2، وبعد ذلك تضاف الحرارة الخط 3-4. عند النقطة 4 تفتح بوابة العادم فتخرج منها الغازات ويقل الضغط كلما تحرك المكبس إلى أسفل. عند النقطة 5 تفتح بوابة الشحن. ويلاحظ مما سبق أن الضغط داخل الاسطوانة عند نقطة (5) يجب أن يكون أقل من ضغط الشحن وإلا حدث اندفاع الغازات من فتحة الشحن مما يقلل درجة نقائها بسبب تلوثها. كذلك يجب أن يكون ضغط الغازات داخل الاسطوانة أكبر من الضغط الجوى لضمان خروج غازات العادم وأقل من ضغط الشحنة كى تندفع إلى الاسطوانة.

ب- محركات الديزل (الأشتعال بالضغط)

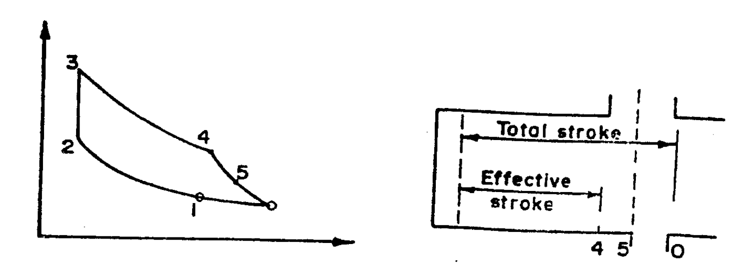
أما الدورة الحرارية ثنائية الأشواط لمحركات الديزل فتتم على النحو التالى:
عندما يكون المكبس عند النقطة الميتة السفلى يدخل عن طريق فتحة السحب هواء فقط ويمكن دفعه بالاستعانة بمروحة. ويتحرك المكبس متجها إلى النقطة الميتة العليا ويبدأ شوط الضغط ويزداد ضغط الهواء وأيضا درجة حرارته. وعندما يصل

المكبس قريبا من النقطة الميتة العليا يبدأ الرشاش فى دفع الوقود (السولار) داخل الاسطوانة على هيئة رذاذ رفيع ويتم خلطه بالهواء وتتم عملية الاشتعال وينتج عنها غازات تحت ضغط عالى تحاول أن تضغط على المكبس إلى أسفل ويبدأ شوط التشغيل.

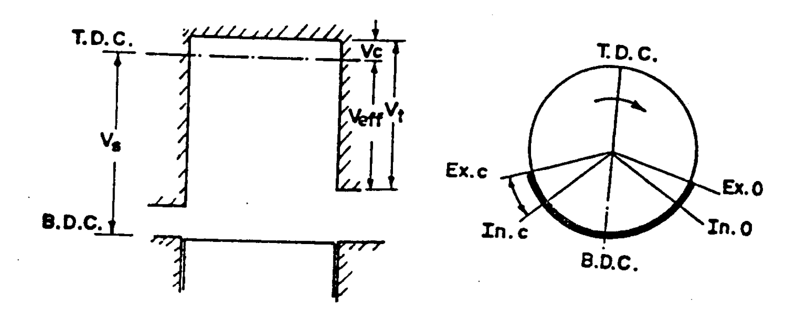
وعندما يصل المكبس قريبا من النقطة الميتة السفلى يبدأ خروج العادم من فتحة جانبية وتتكرر الدورة مرة اخرى. ويلاحظ أنه إذا حدث تسرب عن طريق فتحة العادم فيكون عبارة عن هواء فقط مما لا يؤثر على الكفاءة الحرارية.

توقيت فتح وغلق بوابات المحرك ثنائية الأشواط Port Timing Diagrams

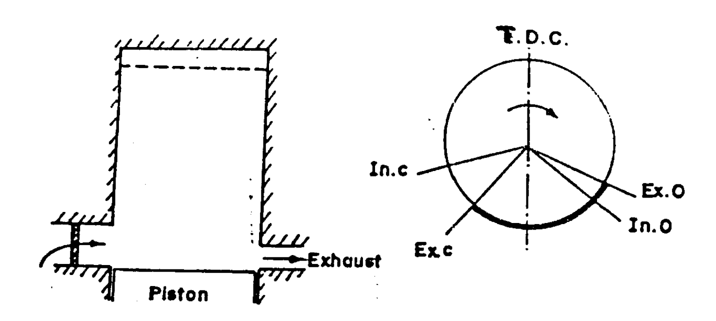
فى المحرك الثنائى الأشواط نجد أن هناك بوابة للشحن (المقابلة لمجرى التوصيل) وبوابة العادم وتكون متقابلتان، فأثناء تحرك المكبس إلى أسفل تفتح بوابة العادم أولاً ثم بعد ذلك بوابة الشحن، إلى أن يصل المكبس إلى BDC، حيث يتحرك المكبس بعد ذلك إلى أعلى مغلقاً بوابة الشحن أولاً ثم بوابة العادم، فإذا كان زوايا فتح وغلق البوابات بالنسبة للمحور الراسى متساوية - لذلك يعرف هذا النوع بالتوقيت المتماثل، كما يوضح شكل (3-28). اما إذا أغلقت بوابة العادم أولاً ثم بعد ذلك بوابة الشحن، تزداد كمية الشحنة الداخلة إلى حيز الاسطوانة مما يجعل درجة امتلائها كبيرة ويسمى هذا بالتوقيت الغير متماثل، كما يوضح شكل (3-29).



شكل (3-27) الدورة الحرارية للمحركات الثنائية



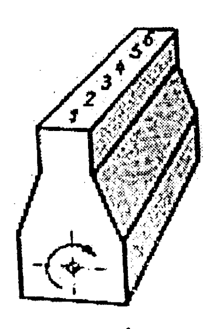
شكل (3-28) التوقيت المتماثل فى المحركات الثنائية



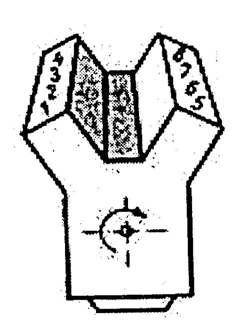
شكل (3-29) التوقيت الغير متماثل فى المحركات الثنائية

3-9- ترقيم الاسطوانات

يتم ترقيم الاسطوانات طبقاً للمواصفات القياسية Din 73021 يبدأ بالاسطوانات الواقعة فى جهة مأخذ القدرة (الحدافة) ويتم ذلك أيضاً فى المحركات ذات الاسطوانات المتقابلة والمحركات التى على شكل حرف V حيث يبدأ أولاً ترقيم الاسطوانات الواقعة على الجانب الأيسر ثم الاسطوانات الواقعة على الجانب الأيمن كما يوضح شكل (3-30).



محرك ذو ست أسطوانات (مستقيم)



أسطوانات على شكلV

شكل (3-30) ترقيم الاسطوانات

10-3- المحركات المتعددة الاسطوانات *Multi-Cylinder I.C. Engines*

كما أوضحنا سابقاً أن الدورة الحرارية الواحدة تستفاد من الطاقة الناتجة من احتراق الوقود فى شوط القدرة والتى تختزن فى الحدافة المركبة على عمود الكرنك لتغذية المحرك بالحركة اللازمة أثناء الأشواط الأخرى (عادم- سحب - ضغط) فإذا كانت الدورة الحرارية للمحرك رباعية الأشواط والتى تتم فى لفتين لعمود الكرنك، نجد أن المحرك ذا الاسطوانة الواحدة يعطى دفعة واحدة فقط من القدرة أثناء شوط القدرة وذلك فى لفتين للعمود ولتهيئة استمرار القدرة بانتظام أكثر وبنعومة فى الدوران تستخدم المحركات متعددة الاسطوانات، على أن يراعى عند ترتيب الاشتعال فى هذه الاسطوانات على فترات منتظمة ومتساوية بقدر المستطاع، كما يجب مراعاة توقيت الاشتعال فى الاسطوانات بحيث لا تتعرض كراسى عمود الكرنك لطرقات متساوية تؤثر فيها وتسبب إجهادات شديدة للعمود نفسه. ولهذا يجب مراعاة انتظام توزيع الأجهادات على عمود المرفق بأكمله. ويمكن حساب الفترة بين شوط القدرة أو الفترة بين الاشتعال من العلاقة التالية:

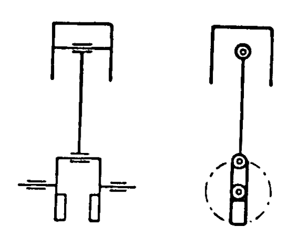
$$Firing\,Interval=\frac{Crankangle\ \ (degrees/cycle)}{Number of\ cylinders}$$

فترة الاشتعال = زاوية عمود الكرنك للدورة الحرارية / عدد الاسطوانات

ترتيب الاشتعال فى المحركات الرباعية الأشواط:

1- المحرك احادى الاسطوانات

المحرك أحادى الاسطوانة هو محرك بسيط التصميم ويكون رخيص الثمن نتيجة قلة عدد أجزائه. أما عيوب هذا المحرك فهى قدرته المحدودة ودورانه المهتز (ينجز شوط شغل (قدرة) واحدة خلال دورتين لعمود المرفق. ويبلغ البعد الزاوى للإشعال (الفترة بين شوطى القدرة) 720° وكذلك كبر اثقال الموازنة وكبر كتلة الحدافة اللازمة لموازنة المحرك. (شكل 3-31).



الاسطوانة	الأشواط			
اسطوانة واحدة	القدرة	العادم	السحب	الانضغاط
زاوية عمود المرفق	0° 180°	360°	540°	720°

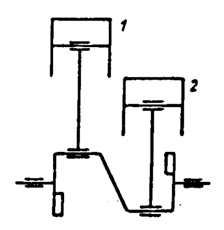
شكل (3-31)

2- محرك مستقيم إسطوانتين

فى هذا المحرك تتم الدورة الحرارية فى لفتين من عمود الكرنك (720) ويحتوى على شوطين قدرة فى تلك الفترة. وللحصول على انتظام فى عمل المحرك يجب أن تنظم هذه الأشواط الفعالة على فترات متساوية وبالتالى تكون الفترة بين شوطى القدرة فى ذلك المحرك 360.

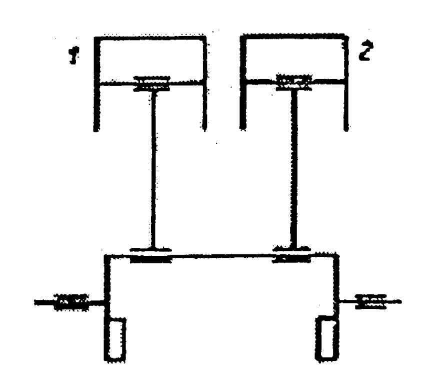
فهناك محرك مستقيم ذو أسطوانتين بعمود مرفق ثنائى الحدافة. يمتاز المحرك بالتوازن الجيد للكتل. إلا أن من عيوبه عدم انتظام الدوران. ويعقب كل شوطى شغل شوطان خاليان (البعد الزاوى) °180 , °540. (شكل 3-32).

وهناك محرك مستقيم ذو اسطوانتين وعمود مرفق بحدافة واحدة. دوران المحرك منتظم (البعد الزاوى) إلا أن عيبه يكمن فى حاجته إلى كتل موازنة كبيرة (شكل 3-33).



الاسطوانة الأولى	القدرة	العادم	السحب	الانضغاط
الاسطوانة الثانية	الانضغاط	القدرة	العادم	السحب
زاوية المرفق	0° 180°	360°	540°	720°

شكل (3-32)

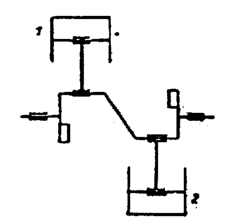


الاسطوانة الأولى	القدرة	العادم	السحب	الانضغاط
الاسطوانة الثانية	السحب	الانضغاط	القدرة	العادم
زاوية المرفق	0° 180°	360°	540°	720°

شكل (3-33)

المحرك ذو الاسطوانتين المتضادتين

يميز هذا المحرك بانتظام دورانه وجودة توازن كتله. ولذلك تصمم المحركات ثنائية الاسطوانات غالباً كمحركات متضادة الاسطوانات (شكل 3-34).

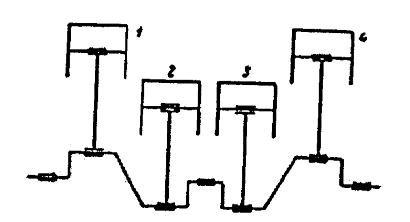


الاسطوانة الأولى	القدرة	العادم	السحب	الانضغاط
الاسطوانة الثانية	السحب	الانضغاط	القدرة	العادم
زاوية المرفق	0° 180°	360°	540°	720°

شكل (3-34)

3- محرك مستقيم أربعة اسطوانات

فى هذا المحرك تكون الفترة بين القدرة 180° ويجب هنا مراعاة توزيع الحمل على عمود الكرنك ولذلك ترتب ركب عمود المرفق بحيث يكون المكبس رقم 1، 4 إلى أسفل وتكون حركة المكابس 2 ، 3 الى أعلى فأذا فرض أن شوط الشغل بدأ فى الاسطوانة 1 فسيكون هناك شوط سحب فى الاسطوانة 4 أما فى الاسطوانة 2 فيتحرك المكبس إلى أعلى فى شوط العادم أو الضغط وكذلك فى الاسطوانة 3 شوط الضغط أو العادم. وعلى هذا نجد أن هناك نظامين للإشعال لهذا المحرك أحدهما بترتيب اشتعال 2-4-3-1 (شكل 3-35)، يؤدى هذا الترتيب إلى دوران هادئ للمحرك (البعد الزاوى 180°) كما يؤدى إلى توازن جيد للكتل، وهو لذا أكثر التصميمات شيوعاً. أما الآخر فيكون ترتيب اشتعاله الثانى 3-4-2-1(شكل 3-36).



الاسطوانة الأولى	القدرة	العادم	السحب	الانضغاط
الاسطوانة الثانية	العادم	السحب	الانضغاط	القدرة
الاسطوانة الثالثة	الانضغاط	القدرة	العادم	السحب
الأسطوانة الرابعة	السحب	الانضغاط	القدرة	العادم
زاوية المرفق	0° 180°	360°	540°	720°

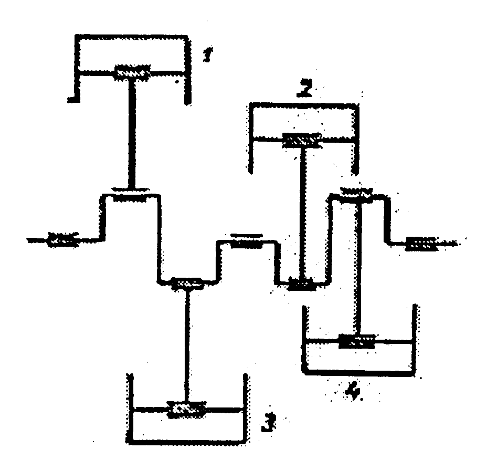
شكل (3-35): ترتيب الاشتعال لمحرك مستقيم أربع أسطوانات 2-4-3-1

الاسطوانة الأولى	القدرة	العادم	السحب	الانضغاط
الاسطوانة الثانية	الانضغاط	القدرة	العادم	السحب
الاسطوانة الثالثة	العادم	السحب	الانضغاط	القدرة
الأسطوانة الرابعة	السحب	الانضغاط	القدرة	العادم
زاوية المرفق	0° 180°	360°	540°	720°

شكل (3-36): ترتيب الاشتعال لمحرك مستقيم أربع أسطوانات 3-4-2-1

4 - محرك متضاد أربعة أسطوانات

المحرك المضاد رباعى الأسطوانات يكون تتابع الإشعال لهذا المحرك (2-3-4-1) كما يوضح شكل (3-37)، يمتاز هذا المحرك بهدوء دورانه (زمن التوقيت الزاوى بين 180°) كما ان توازن الكتل به جيد ويمكن هذا الترتيب من تصميم محرك قصير مناسب للتبريد بالهواء.



الاسطوانة الأولى	القدرة	العادم	السحب	الانضغاط
الاسطوانة الثانية	العادم	السحب	الانضغاط	القدرة
الاسطوانة الثالثة	السحب	الانضغاط	القدرة	العادم
الأسطوانة الرابعة	الانضغاط	القدرة	العادم	السحب
زاوية المرفق	0° 180°	360°	540°	720°

شكل (3-37): ترتيب الاشتعال لمحرك أربع اسطوانات متضادة 2-3-4-1

5- محرك ست اسطوانات:

قد ترتب هذه الاسطوانات فى صف واحد وتكون فى هذه الحالة تشابه المحركات ذات أربع اسطوانات مكونة شكل حرف V ولكن الأكثر انتشارا حتى الآن هى المحركات ذات الصف الواحد خصوصاً التى تزيد سعتها عن 2 لتر، وفى هذه المحركات ترتب محاور المرفق على 120 فى أزواج على حدة ويؤدى هذا إلى اتزان جيد لعمود المرفق. ويلاحظ أن الفترة ما بين بداية شوط القدرة فى أى اسطوانة والتى يليها فى الترتيب حسب نظام الإشعال تساوى 120، ومن هذا نجد أن الأشواط تتداخل فيما بينها بمقدار 60. وهناك أربع احتمالات لنظام الإشعال بالنسبة لهذه المحركات ولكن أكثرها استخداماً وشيوعاً هى: 4-2-6-3-5-1 كما يوضح شكل (3-38) أو 5-3-6-2-4-1 . وعموماً تتميز هذه المحركات بهدوء دورانها.

المحرك على شكل حرف V – ثمانى الأسطوانات. تستعمل محركات ذات ثمانى أسطوانات عند الحاجة إلى قدرات كبيرة. وتصبح هذه المحركات طويلة جداً إذا صنعت أسطواناتها فى صف واحد. ولذا فهى تصمم على شكل حرف V وتوضع كل أربع أسطوانات فى صف. وتبلغ الزاوية بين صفى الأسطوانات من °60 إلى °90 ويكون لهذا المحرك عمود مرفقى واحد، يركب على كل حدافة من حدافاته ذراعاً توصيل. وتكون هذه الحدافات – التى تقع فى مستو واحد – مزاحة عن بعضها بزاوية قدرها °180 وقد بدأ منذ بضع سنوات إنتاج محركات على شكل حرف v ذات أربع وست أسطوانات

1,6
2,5 3,4
1 2 3 4 5 6

Firing Order: 1, 5, 3, 6, 2, 4 for right-handed crankshaft

Firing Order 1, 4, 2, 6, 3, 5 for left-handed crankshaft

محرك ذو ست أسطوانات

الاسطوانة الأولى	الانضغاط	القدرة	العادم	السحب	الانضغاط
الاسطوانة الثانية	العادم	السحب	الانضغاط	القدرة	العادم
الاسطوانة الثالثة	السحب	الانضغاط	القدرة	العادم	السحب
الأسطوانة الرابعة	العادم	السحب	الانضغاط	القدرة	
الأسطوانة الخامسة	الانضغاط	القدرة	العادم	السحب	الانضغاط
الأسطوانة السادسة	السحب	الانضغاط	القدرة	العادم	
زاوية المرفق	0 60 120 180 240 300 360 420 480 540 600 660 720				

شكل (3-37) ترتيب الاشتعال لمحرك ست اسطوانات خط مستقيم 4-2-6-3-5-1

11-3 الدورة الحرارية لمحرك وانكل (الدوار) Rotary Engine

كما أوضحنا فى الباب الأول أن محرك وانكل (الدوار) يختلف فى التصميم عن المحركات الترددية فهو محرك دوار Rotary Engine. يسمى المكبس هنا عضو دوار Rotor حيث ان مقطعه على شكل مثلث مقوس الأضلاع ويتحرك داخل الاسطوانة حركة دورانية من خلال أسنان حول ترس على عمود الكرنك. أى أن المكبس لا يتحرك ترددياً داخل الاسطوانة. إلا أنه يتشابه معها فى نظرية العمل.

تعتمد نظرية تشغيل محرك وانكل Wankle engine على تغير الحجم المحصور بين اضلاع العضو الدوار والسطح الداخل للاسطوانة مع الدوران. فهذا الحجم يبدأ فى الزيادة أمام فتحة دخول الشحنة فيتم سحبها بفعل قوة السحب، بعد ذلك يتم تناقص الحجم مم يتسبب فى ضغط الشحنة إلى أن يصل ضغطها إلى أقصى قيمة أمام شمعات الاحتراق التى تبدأ على الفور فى إشعال الشحنة. يلاحظ وجود أجزاء منخفضة فى أسطح العضو الدوار تشكل مع سطح الاسطوانة غرف الاحتراق. بعد ذلك يحدث الاحتراق وينتج عن ذلك غازات تتمدد هذه الغازات فتدفع المكبس إلى الدوران وبالتالى دوران عمود الكرنك. باستمرار الدوران تواجه غرفة الاحتراق فتحة العادم فتسمح لغازات العادم بالخروج. مما سبق يتضح أن الدورة الحرارية لمحرك وانكل Wankle engine تتكون من أربع أشواط كما هو موضح فى شكل (39-3) على النحو التالى:

1- شوط السحب Suction stroke ويتم خلاله سحب الشحنة إلى غرفة الاحتراق.

2- شوط الانضغاط Compression stroke حيث يتناقص حجم الشحنة المحبوسة فى غرفة الاحتراق ويزداد ضغطها. عندما يصل الضغط إلى اقصى قيمة تنطلق الشرارة من طرف شمعة أو اثنين لتبدأ الشحنة فى الاحتراق.

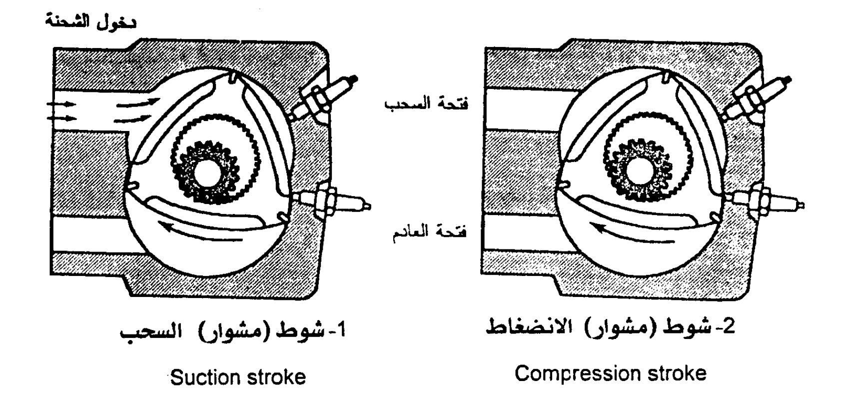
3- شوط القدرة Power stroke حيث يندفع المكبس فى الدوران وكذلك عمود الكرنك بقوة كبيرة من أثر الضغط الناتج عن احتراق الشحنة. هذا الشوط هو المسئول عن توليد القدرة.

4- شوط العادم Exhaust stroke حيث تبدأ غازات العادم فى الخروج إلى الجو. وتكون الاسطوانة مهيأة لاستقبال الشحنة وبدء دورة جديدة.

باستمرار تكرار هذه الدورة، يستمر دوران عمود الكرنك وتوليد القدرة. تتم الدورة هنا خلال لفة واحدة لعمود الكرنك، بينما تحدث خلال لفتين فى المحركات العادية (الترددية). على ذلك فيتميز محرك وانكل بأن قدرته اعلى من المحركات العادية التى لها نفس الحجم. كما أنه يتميز بانخفاض الضوضاء وعدد الأجزاء المتحركة.

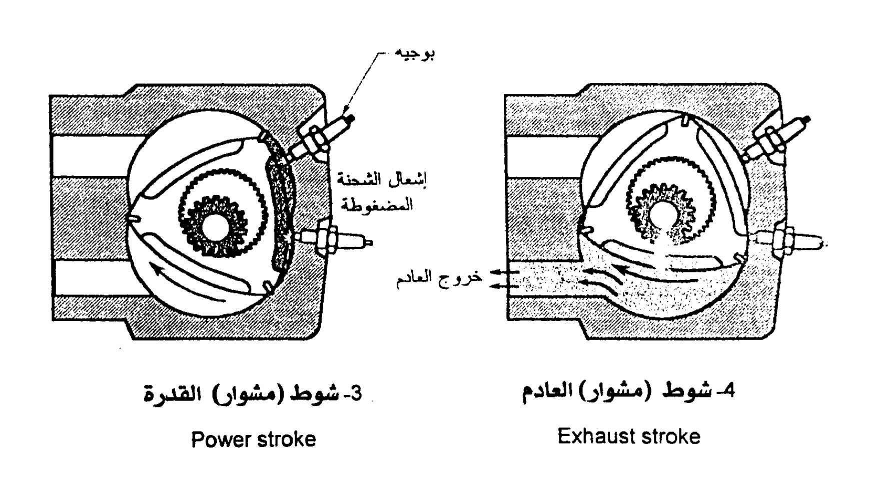
تنتقل الحركة الدورانية من العضو الدوار (المكبس) إلى عمود الكرنك من خلال أسنان داخلية فى العضو الدوار معشقة مع ترس مثبت على عمود الكرنك كما هو موضح فى (3-39). يلاحظ أن سرعة دوران العضو الدوار أكبر بكثير من سرعة عمود الكرنك، أى أن نسبة التعشيق بين الأعضاء الدوارة وعمود الكرنك تؤدى إلى تخفيض السرعة وبالتالى زيادة العزم. وقد كان من أهم المشاكل التى تعرض لها محرك وانكل Wankle engine فى البداية هى تآكل أطراف العضو الدوار بسبب الاحتكاك مع جدران الاسطوانة الداخلية، وقد تم حل هذه المشكلة بوضع قطع منزلقة على رؤوس العضو الدوار، وتم وضع يايات خلفها تستوعب اى تآكا بها بسبب الاحتكاك. تآكل هذه الأطراف يؤدى إلى تسرب الغازات بين الفراغات الموجودة بين أسطح العضو الدوار وجدران الاسطوانة مما يؤثر سلباً على كفاءة التشغيل. وقد تم اختيار سبائك عالية الجودة لهذه القطع والمكابس والاسطوانات.

مازال استخدام محرك وانكل Wankle engine قليلة على مستوى العالم بسبب بعض المشاكل الاقتصادية والتسويقية. ولكن يتوقع فى الأعوام القادمة أن تشهد زيادة فى انتشار هذا المحرك على المستوى التجارى.



1- شوط (مشوار) السحب
Suction stroke

2- شوط (مشوار) الانضغاط
Compression stroke



3- شوط (مشوار) القدرة
Power stroke

4- شوط (مشوار) العادم
Exhaust stroke

شكل (3-39) الدورة الحرارية لمحرك وانكل (المحرك الدوار)

12-3 طرق بدء إدارة المحرك *Engine Starting Method*

عند بدء إدارة المحرك ـ يلزم إحداث شوط سحب ثم ضغط فى الاسطوانات حتى يتم حدوث شوط التشغيل وبعدها يدور المحرك من تلقاء نفسه. لذلك تحتاج المحركات لوسيلة لبدء حركتها عند اول تشغيلها حتى تبدأ الدورات الحرارية فى إعطاء طاقة للمحرك ثم بعد ذلك تفصل الوسيلة من المحرك ذاتياً. وتختلف الطرق المتبعة فى بدء الحركة حسب نوع وقدرة المحرك. وتقابل محركات الاشتعال بالضغط (الديزل) بعض الصعوبات عند تقويم أو بدء إدارتها، فى حين لا توجد هذه الصعوبات عند بدء إدارة محركات الاشتعال بالشرارة (البنزين) ويرجع ذلك للأسباب الآتية:

أ- نسبة الكبس فى محركات الديزل أعلى من نسبة الكبس فى محركات البنزين وبالتالى الضغط داخل الاسطوانات فى محركات الديزل سوف يكون أعلى.

ب- نوع الوقود المستخدم فى محركات الديزل (السولار) يحتاج إلى درجة حرارة عالية للاشتعال أعلى من وقود محركات البنزين (البنزين).

جـ- شمعة الاحتراق فى محركات البنزين تساعد على عملية أشتعال الشحنة فى حين بمحركات الديزل فيتم الاشتعال ذاتياً.

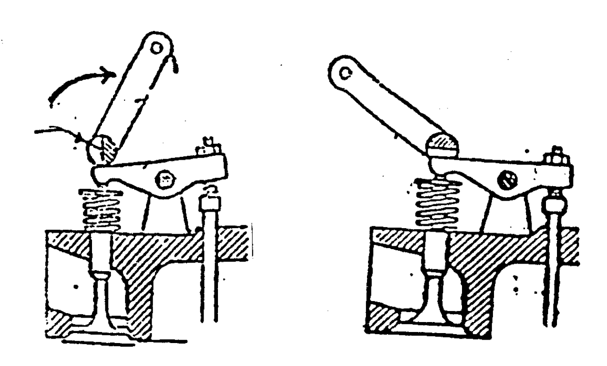
وفيما يلى سوف نذكر الطرق المستخدمة فى بدء حركة المحركات:-

أ- طريقة كامة نصف الضغط:

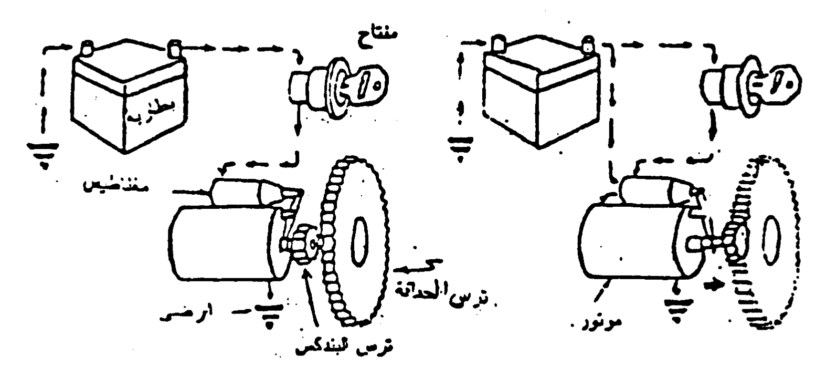
وهى كما يتضح من شكل (3-40) عبارة عن كامة يمكن للعامل أن يحركها لتضغط على صمام العادم فتعمل على فتحه فتحا جزئيا أثناء بداية تشغيل المحرك حتى يقل الضغط داخل الاسطوانة ويحتاج إلى قوة أقل فى إدارة عمود الكرنك. ويتم دوران عمود الكرنك عن طريق عمود يدار باليد يسمى (المانفيلا) وفى أثناء ذلك يتم دفع لشحنات الوقود داخل المحرك إلى أن يتم دوران عمود الكرنك بنفسه وبعد الإدارة ترفع اليد من أعلى كامة نصف الضغط وتفصل المانفيلا ليستمر المحرك فى الدوران بنفسه. وهذه الطريقة تستهلك كمية من الوقود أكبر أثناء بدء التشغيل إذا ما قورنت بالطرق الأخرى.

ب- طريقة المارش الكهربائى:

تعتبر طريقة المارش الكهربائى (شكل3-41) أسهل طريقة لبدء إدارة المحرك وهى عبارة عن محرك كهربائى يستمد الطاقة الكهربائية من بطارية ومركب على محوره ترس صغير يسمى ترس البندكس. وهذا الترس يقابل ترس كبير موجود على محيط الحدافة. وهذين الترسين يكونا فى وضع الفصل عندما يكون المحرك دائراً. ولكن أثناء بدء إدارة المحرك يتم أولا إدارة المحرك الكهربائى وبالتالى يدور محوره، وعلى هذا المحور يوجد حلزون يعمل على دفع ترس البندكس لتوصيله بترس الحدافة ليعمل على دوران عمود الكرنك وهذه العملية تتم فى ثوانى قليلة. ونجد أن الحدافة تدور ومعها عمود الكرنك الذى يقوم بدوره فى حركة مكابس الاسطوانات إلى أعلى وإلى أسفل لعمل مجموعة من الدورات الحرارية حتى يصبح للمحرك القدرة على الاستمرار فى إدارة نفسه وفى هذه الأثناء تفصل الدائرة الكهربائية عن المحرك الكهربائى ويقف عن الحركة ويعود ترس البندكس إلى وضع الفصل بفعل ياى موجود على محوره.



شكل (3-40): طريقة كامة نصف الضغط لبدء المحرك



شكل (3-41): بدء إدارة المحرك بالمارش

جـ - طريقة تقويم محركات الديزل بمحركات البنزين:

نظراً لسهولة بدء إدارة محركات البنزين فإنها تستخدم لتقويم محركات الديزل بدلاً من المحرك الكهربائى (وخصوصاً مع محركات الديزل العالية القدرة) حيث يستخدم محرك بنزين ذو قدرة صغيرة لمدة دقيقة أو دقيقتين لتقويم محرك الديزل وايضا لتسخين الاسطوانات لسهولة اشتعال أول شحنة من وقود السولار عند دخولها إلى الاسطوانة. وفى بعض الأحيان نجد أن محرك الديزل يعمل أولاً كمحرك بنزين للتقويم فقط ثم بعد ذلك يتحول الى محرك ديزل لذا نجد فى هذا النوع صمام فى راس الاسطوانة يفتح على غرفة إضافية بها شمعة اشتعال وايضا لتخفيض نسبة الكبس من محركات الديزل إلى محركات بنزين. ويوجد كاربوراتير منفصل لخلط البنزين بالهواء عند بداية التشغيل. فعند بدء التشغيل يقوم السائق بالضغط على رافعة ثم يقوم السائق بتشغيل المحرك كأنه محرك بنزين عادى. وعند دوران المحرك لمدة دقيقتين يقوم السائق ثانياً برفع الرافعة

مرة اخرى ليقوم ليعمل كمحرك ديزل. واحيانا يوجد فى راس الاسطوانة مجموعة سخانات تسمى شمعة التسخين لتسهيل مهمة اشتعال شحنات الوقود الداخلة إلى الاسطوانة وخصوصا مع محركات الديزل.

الباب الرابع

عناصر قياس أداء المحركات

ENGINES PERFORMANCE PARAMETERS

الباب الرابع

عناصر قياس أداء المحركات

ENGINES PERFORMANCE PARAMETERS

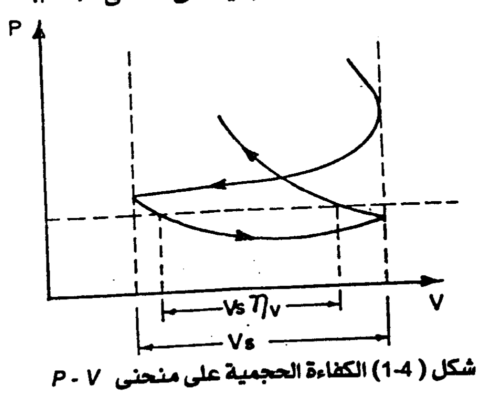
4-1- مقدمة

يعد أداء المحرك مؤشرا لدرجة نجاح المحرك فى تحويل الطاقة الكيماوية المخزونة فى الوقود الى شغل ميكانيكى مفيد. ولتقييم أداء المحرك هناك بعض العناصر أو ما يعرف بمعاملات الأداء *Performance Parameters*.

- الكفاءة الحجمية *Volumetric Efficiency*

تعبر الكفاءة الحجمية للمحرك عن درجة امتلاء الأسطوانة بالشحنة *Fresh Charge* أثناء فترة السحب. فكلما زاد مقدار الشحنة الموجودة فى الاسطوانة، كلما زادت القدرة التى تنتجها الأسطوانة.

ويوضح شكل (4-1) معنى الكفاءة الحجمية على منحنى *P - V*.



شكل (4-1) الكفاءة الحجمية على منحنى *P - V*

وهناك تعبيران مختلفان للدلالة على درجة الكفاءة الحجمية:

الأول : يأخذ فى الأعتبار حجم الشحنة، ويعرف بأنه النسبة بين حجم الشحنة التى تدخل فى أسطوانة المحرك أثناء شوط السحب الى حجم مشوار المكبس.

$$\eta_v = \frac{V_{ch}}{V_s}$$

حيث :

V_{ch} = حجم الشحنة الداخلة *Volume of fresh charge*

V_s = حجم المشوار *Volume of stroke*

الثانى: يأخذ فى الاعتبار وزن الشحنة ويعرف بأنه النسبة بين وزن الشحنة التى تدخل الأسطوانة الى وزن الشحنة الذى يملأ نفس الحجم عند ضغط ودرجة حرارة الدخول.

$$\eta_v = \frac{G_{ch}}{G_s}$$

حيث :

G_{ch} = كمية الشحنة الفعلية التى تدخل فى الأسطوانة لدورة الحرارة الواحدة.
quality of fresh charge by mass in the cylinder

G_s = كمية الهواء التى يمكن أن تملأ حجم مشوار المكبس عند نفس درجة الحرارة وضغط الهواء المحيط. *quantity of fresh charge by mass in the volume stroke.*

ويمكن تحديدها من العلاقة:

$$G_s = V_s \rho_a$$

حيث

ρ_a = كثافة الهواء *Air density* كجم/متر٣ (kg/m^3) عند نفس ظروف درجة الحرارة والضغط المحيط بالمحرك.

$$G_{ch}=\frac{2G_o.\alpha.G_f}{N.n}$$

حيث

G_f = معدل استهلاك الوقود *Fuel consumption* كجم /ساعة (kg/h)

G_o = كمية الهواء اللازمة لاحتراق الوقود (كجم. kg)

Air required for the combustion

N = سرعة عمود الكرنك لفه / دقيقة (r.p.m)

n = عدد الإسطوانات (-).

$$G_o=\frac{2.67C+8H\ -O}{0.23}$$

حيث:

C,H,O وزن الكربون والهيدروجين والأكسجين فى 1 كجم من الوقود.

α = معامل زيادة الهواء *excess air ratio* وهو النسبة بين كمية الهواء الداخلة للأسطوانة الى كمية الهواء اللازمة للاحتراق. إذا كان α أقل من 1يكون الخليط غنى أما إذا كان α أكبر من 1يكون الخليط فقير وتتراوح قيم معامل زيادة الهواء α لمحرك البنزين *Carburetor engine* من 0.8 الى 1.15 أما لمحرك الديزل *Diesel engine* مابين 1.2 الى 1.65. ويلاحظ ان قيمة α لمحرك الديزل أكبر من محرك البنزين ويرجع ذلك إلى:

- عدم وجود وسيلة للخلط كما فى البنزين.
- الزمن اللازم للخلط 0.025 الى 0.02 من الزمن اللازم لمحرك البنزين.

وعلى ذلك يمكن إيجاد الكفاءة الحجمية بمعرفة معامل زيادة الهواء ومعدل استهلاك الوقود على النحو التالى:

$$\eta_v=\frac{G_{ch}}{G_s}=\frac{G_{ch}}{V_s\rho_a}$$

$$\eta_v=\frac{2G_o\alpha G_f}{NnV_s\rho_a}$$

ويمكن الحصول على كفاءة حجمية عالية من خلال:

1- توفير ممرات دخول مناسبة (أنابيب السحب متسعاً، قصيراً قليل الانحناء ملساء قدر الإمكان)

2- فتحة صمام كبير (بحيث تفتح الصمامات باتساع كافى ولمدة طويلة كما يمكن تركيب أكثر من صمام).

3- اختبار شكل مناسب لغرفة الاحتراق: فعلى سبيل المثال تمتلئ غرفة الاحتراق نصف الكروية بشكل أفضل من غرفة الاحتراق العادية.

4- احكام أجزاء مجموعة السحب: يجب أن تكون هذه الأجزاء ذات احكام جيد لمنع تسرب الشحنة.

5- درجة حرارة الهواء المسحوب منخفضة: فالهواء الساخن كثافته صغيرة ويؤدى ذلك إلى انخفاض الكفاءة الحجمية.

6- ضغط الهواء المسحوب عالى: تؤدى استخدام المحركات فى المرتفعات إلى انخفاض كثافة الهواء مما يؤدى إلى انخفاض الكفاءة الحجمية.

- العناصر البيانية لشغل الدورة الحرارية:

Indicated Parameters of Working Cycle

يعبر عن الشغل الناتج من الدورة الحرارية فى محركات الاحتراق الداخلى فى عدة عناصر:

- متوسط الضغط البيانى *Mean indicated pressure*
- القدرة البيانية *Indicated power*
- الكفاءة الحرارية البيانية *Indicated efficiency*

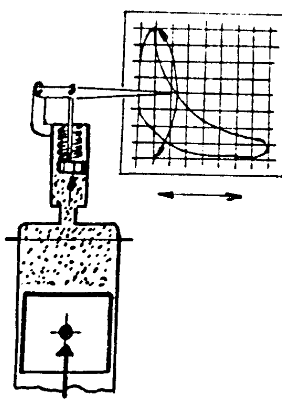
- القدرة البيانية (*Indicated power*)

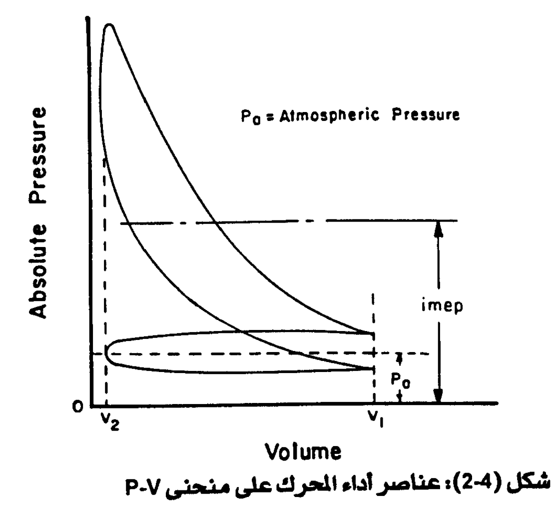
تعرف القدرة البيانية للمحرك بأنها قيمة القدرة المتولدة من ضغط الغازات فى اسطوانات المحرك خلال شروط القدرة. وتسمى قدرة بيانية نظرا لأنها يمكن قياسها باستخدام جهاز المبين بالشكل (4-2) وهو يقوم برسم المنحنى البيانى

بين حجم الإزاحة والضغط داخل الاسطوانة. على ذلك فالقدرة البيانية هى القدرة التى تحسب من منحنى العلاقة بين الضغط والحجم ومساحة هذا الشغل فى اتجاه عقارب الساعة (الأتجاه الموجب) يعطى الشغل الصافى فوق سطح المكبس الناتج من الدورة الحرارية الواحد لكل الأسطوانة. ويمكن استنتاج ذلك على النحو التالى:

Area = Pressure units (N/m^2) *x Volume unite* (m^3)

= N . m = Unit of work





شكل (2-4): عناصر أداء المحرك على منحنى P-V

ويتوقف الزمن المبذول فيه هذا الشغل على نوع الدورة الحرارية من حيث كانت ثنائية أم رباعية الأشواط. فأذا كانت الدورة رباعية الأشواط فيكون الزمن هو زمن ٢ لفه من عمود المرفق. وعليه يمكن تحديد القدرة البيانية كما يلى:

حيث أن تعريف القدرة هو معدل بذل شغل

القدرة = شغل / زمن

$$Power = \frac{Work}{Time}$$

القدرة البيانية = الشغل البيانى فى الدورة الحرارية / زمن الدورة الحرارية

$$Indicated\ Power = \frac{Work\ of\ heat\ cycle}{time\ of\ heat\ cycle}$$

زمن الدورة الحرارية

$$Time\ of\ one\ engine\ heat\ cycle = \frac{2\times 60}{N}\sec\ (for\ four\ stroke)$$

محرك رباعية الأشواط

$$= \frac{60}{N}\sec\ (for\ two\ stroke)$$

محرك ثنائى الأشواط

حيث:

N = سرعة عمود الكرنك (لفة/ دقيقة)

ويحسب عدد الدورات الحرارية فى الثانية من المعادلة:

$$Number\ of\ cycles = \frac{N.n}{2\times 60}\quad cycle/\sec$$ (دورة/ثانية)

على ذلك تكون القدره البيانية $I.P$

$$I.P = \frac{(IWD)\times N}{2\times 60}\ \frac{\times n}{\times 1000}$$

حيث:

IWD = الشغل الناتج من الدورة الحرارية *indicated Work done* (نيوتن. متر *N.m*

I.P = القدرة البيانية (كيلو وات *kW*)

وتحويل الشغل إلى حاصل ضرب قوة دفع المكبس فى طول المشوار وعلى ذلك يمكن إيجاد القدره البيانية من العلاقة الآتية:-

$$I.P=\frac{F\times S\times N\times n}{2\times 60\times 1000}$$

حيث:

F = قوة دفع المكبس الى اسفل (نيوتن N)

S = طول المشوار (متر m).

يؤثر ضغط الغازات داخل حيز الاحتراق فى جميع الاتجاهات بنفس الدرجة ومن ثم على سطح المكبس.

قوة دفع المكبس يمكن التعويض عنها بحاصل الضغط فى مساحة. ويمثل الضغط هنا بمتوسط على سطح المكبس (متوسط الضغط البيانى الفعال) وتمثل المساحة بمساحة سطح المكبس. وعلى ذلك يمكن إيجاد القدرة البيانية على النحو التالى:

$$I.P=\frac{P_i\times \frac{\pi D^2}{4}\times S\times N\times n}{2\times 60\times 1000}$$

حيث

D = قطر الأسطوانة (متر/ m)

P_i = متوسط الضغط البيانى الفعال (بسكال Pa)

indicated mean effect pressure (I.m.e.p) (Pa)

وتبلغ قيمته للمحركات المختلفة على النحو التالى:

لمحرك بنزين رباعى الأشواط 0.6~1.4 (MPa)

لمحرك ديزل رباعى الأشواط 0.7~1.1 (MPa)

لمحرك ديزل ذات شاحن زائد رباعى الأشواط 2.2 (MPa)

ويلاحظ أن قيم محركات الديزل أقل من محركات البنزين، وهذا يرجع الى أن محرك الديزل يعمل عند معامل زيادة الهواء مرتفع.

ويمكن حساب القدرة البيانية كدالة فى حجم المشوار او حجم ازاحة المكبس على النحو التالى:

$$I.P=\frac{P_i \times V_s \times N \times n}{2 \times 60 \times 1000}$$

$$I.P=\frac{V_s . P_i . N}{2 \times 60}$$

حيث:

- V_s حجم المشوار (متر^٣) Volume of stroke (m^3)
- P_i متوسط الضغط البيانى الفعال بسكال (Pa)

ويلاحظ أن جميع العلاقات السابقة للمحرك رباعى الأشواط، أما اذا كان المحرك ثنائى المشوار فأن زمن الدورة الحرارية :

$$\text{Time of Cycle} = \frac{60}{N}$$

وعلى ذلك فأنه لتطبيق المعادلات الخاصة بحساب القدرة البيانية *IP* يتم مضاعفة القيمة، بمعنى ضرب الناتج من المعادلة فى 2.

متوسط الضغط الفعال Mean Effective Pressure يتغير الضغط داخل اسطوانة المحرك أثناء شوط القدرة ما بين الضغط الجوى واقصى ضغط داخل الاسطوانة حسب موقع المكبس، لذلك يستخدم عمليا ضغط يعرف باسم متوسط الضغط البيانى الفعال P_i

- الكفاءة الحرارية البيانية (Indicated Thermal Efficiency)

هى النسبة بين كمية الحرارة التى تؤدى الى شغل بيانى فوق سطح المكبس الى كمية الحرارة الناتجة من احتراق الوقود. وتستخدم الكفاءة الحرارية البيانية لبيان مدى الأستفادة من الحرارة الكلية الناتجة من الأحتراق.

$$\eta_{ith}=\frac{IP}{Fuel\ Power}$$

$$\eta_{ith}=\frac{3600\times IP}{G_f\times F.C.V}$$

حيث:

IP = القدرة البيانية (كيلو وات) Indicated Power (kW)

G_f = معدل استهلاك الوقود (كجم/ ساعة). Fuel Consumption (kg/h)

$F.C.V$ = القيمة الحرارية للوقود (كجول / كجم)

Fuel Calorific value (kJ/kg)

وتحت ظروف التشغيل العادية تكون قيمة الكفاءة الحرارية البيانية على النحو التالى:

- محركات بنزين Carburetor engines 0.35 – 0.26
- محركات ديزل Diesel engines 0.50 – 0.38

- المعدل البيانى النوعى لأستهلاك الوقود

Indicated Specific Fuel Consumption (I.S.F.C)

هو النسبة بين معدل استهلاك الوقود G_f (كجم / ساعة kg/h) الى القدرة البيانية IP (كيلووات kW) و يمكن حساب المعدل البيانى النوعى لأستهلاك الوقود من العلاقة:

$$I.S.F.C=\frac{G_f}{IP}$$

حيث:

G_f = معدل إستهلاك الوقود (كجم/ساعة *kg/h*)

IP = القدرة البيانية (كيلووات *kW*) .

I.S.F.C = المعدل البيانى النوعى لأستهلاك الوقود *(kg/kW.h)*

وتكون قيم المعدل البيانى النوعى لاستهلاك الوقود *I.S.F.C* للمحركات المختلفة على النحو التالى

- محركات بنزين *0.235 to 0 .0. 370 kg/(kW .h) Carburetor engines*
- محركات ديزل *0.170 to 0.230 kg/(kW .h) Diesel engines*

الهواء اللازم للاحتراق

يحتاج الوقود إلى كمية محددة من الهواء لكى يتم احتراقه احتراقاً كاملاً. ونحصل على أقل استهلاك وقود عند نسبة هواء زائد تبلغ (10%) ونحصل على أكبر قدر عند نسبة هواء ناقص تبلغ ما بين (5% ~ 10%) ويوضح جدول (4-1) كمية الهواء اللازمة للاحتراق.

جدول (4-1) يوضح كمية الهواء اللازمة للاحتراق.

نوع الوقود	الكثافة	الهواء اللازم للاحتراق	
بنزين	0.75 ~ 0.78	14.2 – 14.8	11.0 ~ 11.5
الديزل	0.84	14.5	11.2

- الفواقد الميكانيكية *Mechanical Losses*

وهى الفواقد فى التغلب على كل المقاومات ضد حركة المحرك وتقدر الفواقد الميكانيكية بمقدار الضغط الميكانيكى P_m وقد وجد بالتجارب أن الفاقد الميكانيكى P_m يعتمد على السرعة المتوسطة للمكبس، وأن هناك علاقة خطية بين الفاقد الميكانيكى P_m والسرعة المتوسطة للمكبس وتختلف قيم ثوابت هذه العلاقة طبقا لنسبة بين المشوار الى قطر الأسطوانة، وأيضا لعدد أسطوانات المحرك وذلك فى محرك البنزين.

P_m=0.049 + 0.0152 V_{pm} (S/D > 1; n < 6)

P_m = 0.039 + 0.0132 V_{pm} (S/D < 1 , n = 8)

P_m = 0.034 + 0.0113 V_{pm} (S/D < 1, n<6)

حيث:

P_m، الفاقد الميكانيكى MPa

V_{pm}: السرعة المتوسطة للمكبس

n = عدد الاسطوانات

- **أما فى محركات الديزل فتعتمد ثوابت المعادلة الخطية على نوع غرفة الأحتراق.**

P_m=0.089 + 0.0118 V_{pm} غرفة الاحتراق المباشر

P_m = 0.103 + 0.0153 V_{pm} Per chamberالاحتراق المبدئى

P_m = 0.089 + 0.0135 V_{pm} غرفة الاحتراق خلية الهواء

وتحسب القدرة المفقودة من المعادلة:

$$MP = \frac{P_m \cdot V_e \cdot N \cdot n}{2 \times 60}$$

حيث:

MP القدرة المفقودة ميكانيكا kW

P_m الفاقد الميكانيكى (kPa)

- متوسط الضغط الفرملى الفعال Break Mean Effect Pressure (b. m. e.p)

هى النسبة بين الشغل الفعال على عمود الكرنك الى حجم الأزاحة وكما يمكن إيجادها من الفرق بين الضغط البيانى والفاقد الميكانيكى وذلك طبقاً للعلاقة:

$$P_b = P_i - P_m$$

- **للمحركات ذات الشاحن الميكانيكى:** Mechanical Supercharger

$$P_b = P_i - P_m - P_s$$

حيث

P_s فاقد الضاغط اللازمه لإدارة الشاحنة

Supercharger drive pressure losses

عند ظروف التشغيل العاديه تكون قيمة متوسط الضغط الفرملى الفعال P_b على النحو التالى:

- محرك بنزين رباعى الأشواط *0.6 to 1.1 M Pa*
- محرك ديزل رباعى الأشواط *0.55 n 0.85 M Pa*
- محرك شحن زائد *up to 2.0 M Pa*
- محرك ثنائى الأشواط *0.4 to 0.75 M Pa*

ـ القدرة الفرملية (*Brake Power*)

وهى القدرة المنتفع بها عند عمود الكرنك وتسمى بالقدرة الفرملية لأنه يتم قياسها عملياً بجهاز يعرف باسم (فرملية برونى) وهى مستمد من القدرة البيانية للمحرك عن طريق ذراع التوصيل ومجموعة الأجزاء المتحركة وتعرف القدره الفرمليه كالآتى :

$$BP = IP - MP$$

حيث:

MP = القدرة المفقودة فى الحركة الميكانيكية.

ويمكن حساب القدرة الفرملية من العلاقة:

$$BP = \frac{P_b \times V_s \times N \times n}{2 \times 60 \times 1000}$$

$$= \frac{P_b \times Ve \times N}{2x60}$$

حيث:

V_s = حجم الاسطوانة

V_e = حجم المحرك

N = سرعة المحرك r.p.m

n = عدد الاسطوانات

وبتحليل العلاقة السابقة نجد أن زيادة قدرة المحرك الفرملية تعتمد على:

- زيادة حجم الإزاحة للمحرك

- زيادة كثافة الشحنة أو بمعنى آخر زيادة الكفاءة الحجمية.

- الكفاءة الميكانيكية للمحرك *Engine Mechanical Efficiency*

هى النسبة بين ما يدخل المحرك من طاقة، وما يستفاد به من شغل نافع. وتقدر فى العادة كنسبة مئوية. تعرف الكفاءة الميكانيكية بأنها النسبة بين القدرة الفرملية الى القدرة البيانية. ويعرف لها بالرمز . وتحسب عن طريق:

$$\eta_m = \frac{BP}{IP}$$

$$\eta_m = \frac{P_p}{P_i} = 1 - \frac{P_m}{P_i}$$

$$= 1 - \frac{P_m}{P_i}$$

وتعتمد الكفاءة الميكانيكية على الفاقد الميكانيكى، بزيادة الفاقد الميكانيكى تقل الكفاءة الميكانيكية. وتتراوح قيم الكفاءة الميكانيكية لمحرك البنزين من ٪70 الى 90% ولمحرك الديزل رباعى الأشواط من ٪70 إلى ٪82، لمحرك ديزل ثنائى الأشواط من ٪70 إلى ٪85.

- الكفاءة الحرارية الفرملية *Brake Thermal Efficiency*

هى النسبة بين كمية الحرارة التى تتحول الى شغل على عمود الكرنك الى كمية الحرارة الناتجة من أحتراق الوقود.

$$\eta_{bth} = \frac{3600 \times BP}{G_f \times F.C.V}$$

حيث:

G_f معدل استهلاك الوقود kg/h

F.C.V القيمة الحرارية للوقود kg/h

ويمكن إيجاد الكفاءة الحرارية الفرملية من العلاقة:

$$\eta_{bth} = \eta_{ith} \times \eta_m$$

حيث:

η_m = الكفاءة الميكانيكية للمحرك.

η_{ith} = الكفاءة الحرارية البيانية

η_{bth} = الكفاءة الحرارية الفرملية

وتستخدم الكفاءة الحرارية الفرملية لبيان مدى التشغيل الأقتصادى للمحرك، والعلاقة بين الكفاءة الحرارية الفرملية والكفاءة الميكانيكية للمحرك.

وتبلغ قيمة الكفاءة الحرارية الفرملية لمحرك بنزين من 0.25 إلى 0.33 ولمحرك الديزل 0.35 إلى 0.40 ويرجع السبب فى أرتفاع الكفاءة الحرارية لمحرك الديزل عن البنزين الى أرتفاع معامل زيادة الهواء، وهذا يعنى الأحتراق الكامل للوقود الديزل.

- الكفاءة النسبية:

هى النسبة بين الكفاءة الحرارية الفرملية الى الكفاءة الحرارية البيانية للدورة المثالية:

$$\eta_{rel} = \frac{\eta_{bth}}{\eta_{th}}$$

- المعدل الفرملى النوعى لاستهلاك الوقود

***Brake Specific Fuel Consumption* B.S.F.C**

استهلاك الوقود النوعى الفرعى (*kg/kW .h*) هو النسبة بين معدل استهلاك الوقود G_f (كجم / ساعة kg/h) إلى القدرة الفرملية BP (كيلو وات kW) ويمكن إيجاده من العلاقة الآتية :

$$B.S.F.C = \frac{G_f}{BP}$$

تحت ظروف التشغيل العاديه تتراوح قيمة معدل أستهلاك الوقود النوعى

لمحرك الديزل *0.210 to 0.280 kg / (kW.h)*

و لمحرك البنزين *0.250 to 0.325 kg /(kW.h)*

3-4- عناصر للمقارنة بين المحركات

وتستخدم عناصر اداء المحرك التى سبق ان اوضحناها والمتمثلة فى قدرته الفرملية وسعته ومعدل استهلاك الوقود للمقارنة بين المحركات وهناك عناصر اخرى يمكن إضافتها للمقارنة وهى كما يلى:

أ- الحجم النوعى Specific Volume

وهو النسبة بين القدرة وحجم الإزاحة الكلية ويعرف بمعدل الأداء لوحدة الحجم Performance per liter ويحسب من المعادلة الآتية:

$$\text{Specific Volume (kW /liter)} = \frac{\text{Rated Power (kW)}}{\text{Engine Volume (liter)}}$$

ويبلغ الحجم النوعى للمحركات:

فى الديزل 2-26 kW/liter

فى البنزين 20-60 kW/liter

ب- النسبة بين القدرة ومساحة أسطح المكابس

Performance per unit piston area.

وهى النسبة بين قدرة المحرك ومساحة أسطح المكابس وتحسب من:

$$PAp = \frac{BP}{n.Ap}(kW/m^2)$$

PAp = **النسبة بين القدرة ومساحة أسطح المكبس (كيلووات/متر^2)**

BP = **القدرة الفرملية للمحرك**

n = **عدد اسطوانات المحرك**

Ap = **مساحة سطح المكبس**

$$Ap = \pi D^2 / 4$$

D = **قطر الاسطوانة**

وهذا يعبر عن العلاقة بين كمية الحرارة ومقدار الاجهاد الديناميكى وتتراوح قيمتها :

فى الديزل 900 – 1300 kW/m^2

فى البنزين 700 – 1100 kW/m^2

ج- النسبة بين الوزن وحجم الإزاحة The Weight Per Liter

$$WPL = \frac{We}{Ve} \quad kg/liter$$

حيث:

W_e = **وزن المحرك كيلو جرام**

V_e = **حجم الإزاحة للمحرك لتر**

ويفضل انخفاض هذه القيمة وذلك من وجهة نظر الناحية التصميمية وتكنولوجيا الانتاج Production techniques وتتراوح قيمتها على النحو التالى:

فى البنزين	70 – 120 kg / liter
فى الديزل	85 – 200 kg / liter

د- الوزن النوعى للمحرك: Specific Weight

وهى النسبة بين وزن المحرك وقدرته الفرملية:

$$SW = \frac{We}{Bp} \qquad kg/kW$$

وتوضح هذه النسبة مدى كفاءة التصميم، وتعتمد على عدة عوامل منها: نوع المحرك والغرض منه، التصميم، كمية المعادن الداخلة فى التصميم.

وتتراوح قيم الوزن النوعى على النحو التالى:

2.70 – 9.50	For car	
4.00 – 20.0	Diesel	High speed
33.50 – 40.2	Diesel	Slow speed
50.00 – 135	Marine	n < 200 r.p.m

هـ- الحد الأقصى لقدرة الاسطوانة الواحدة Max. Cylinder Power

$$Max\,cylinder\,power = \frac{Bp}{n} \quad kW$$

15	kW	For car
30 – 52	kW	High speed diesel

ـ تأثير السرعة على أداء المحرك

Effect of Speed on Engine Performance

تؤثر السرعة على كلاً من الكفاءة الحجمية وقدرة المحرك على النحو التالى شكل (4 – 4).

1- الكفاءة الحجمية

تقل الكفاءة الحجمية η_v عموماً بسبب التخلخل. وإذا ازدادت السرعة فإن التخلخل يزداد مما يقلل الكفاءة الحجمية.

2- قدرة المحرك Engine Power

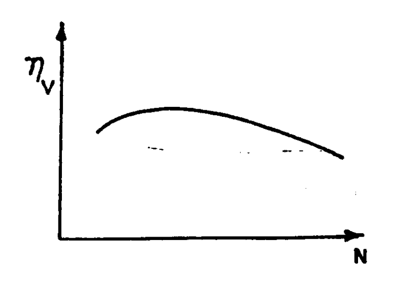
عندما تزداد السرعة فإن Ip تزداد بسبب التحسن الذى يطرأ على عملية الاحتراق ولكن إلى حد معين بعده تقل IP لأن الاثارة Turbulence تزداد لدرجة يزداد معها فاقد التبريد، هذا بالإضافة إلى زيادة التخلخل فى الاسطوانة مما يقلل من مساحة الشكل البيانى.

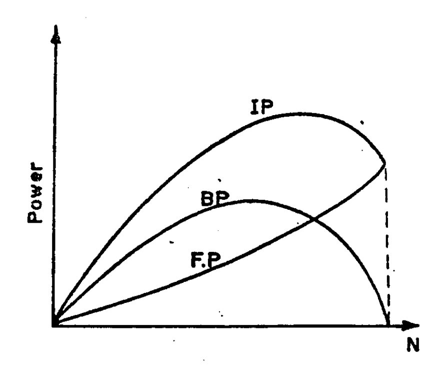
الفاقد الميكانيكى MLP يزداد أيضا بزيادة السرعة فى حين أن الحمل لا يؤثر على الفاقد الميكانيكى كثيراً.

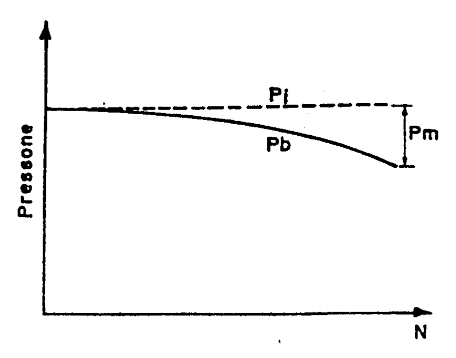
3- عزم المحرك Engine Torque

$$
\begin{aligned}
\therefore BP &= T.\varpi \\
&= 2\pi NT \\
&= Pb.V\,N \\
\therefore Pb\,\alpha\,T
\end{aligned}
$$

بمعنى أن العزم يتناسب مع الضغط المتوسط الفعال. وعلى ذلك يقل العزم كلما زادت السرعة.







شكل (4-4): تأثير سرعة دوران المحرك على أداؤه

منحنيات الأداء للمحرك البنزيني

Characteristic Curres for Car Brattor Engine

أ- تأثير معامل زيادة الهواء

المخلوط الغنى يسبب انخفاضاً فى الكفاءة الحرارية بسبب تبخر البنزين الزائد عن المطلوب وتبريد درجة حرارة الغازات داخل الاسطوانة مما يؤثر على الاحتراق. وتزداد الكفاءة الحرارية كلما زادت α شكل (4-5).

ب- تأثير توقيت الشرارة

يؤثر توقيت الشرارة على اقصى عزم يتولد عند توقيت شرارة يعادل 20 قبل T.D.C

جـ- معدل استهلاك الوقود

كلما زاد الضغط المتوسط الفعال b.m.e.f يقل B.S.F.C لتحسين الكفاءة الحرارية حتى تصل إلى اقصى معدل استهلاك عند $\alpha = 1.1$

وبزيادة الحمل يبدأ معدل الاستهلاك فى الزيادة ثم يصل إلى اقصى حمل عندما تكون $\alpha = 0.85$ وايضاً كلما زادت CR تزداد b.m.e.f فى حين تقل b.s.f.c

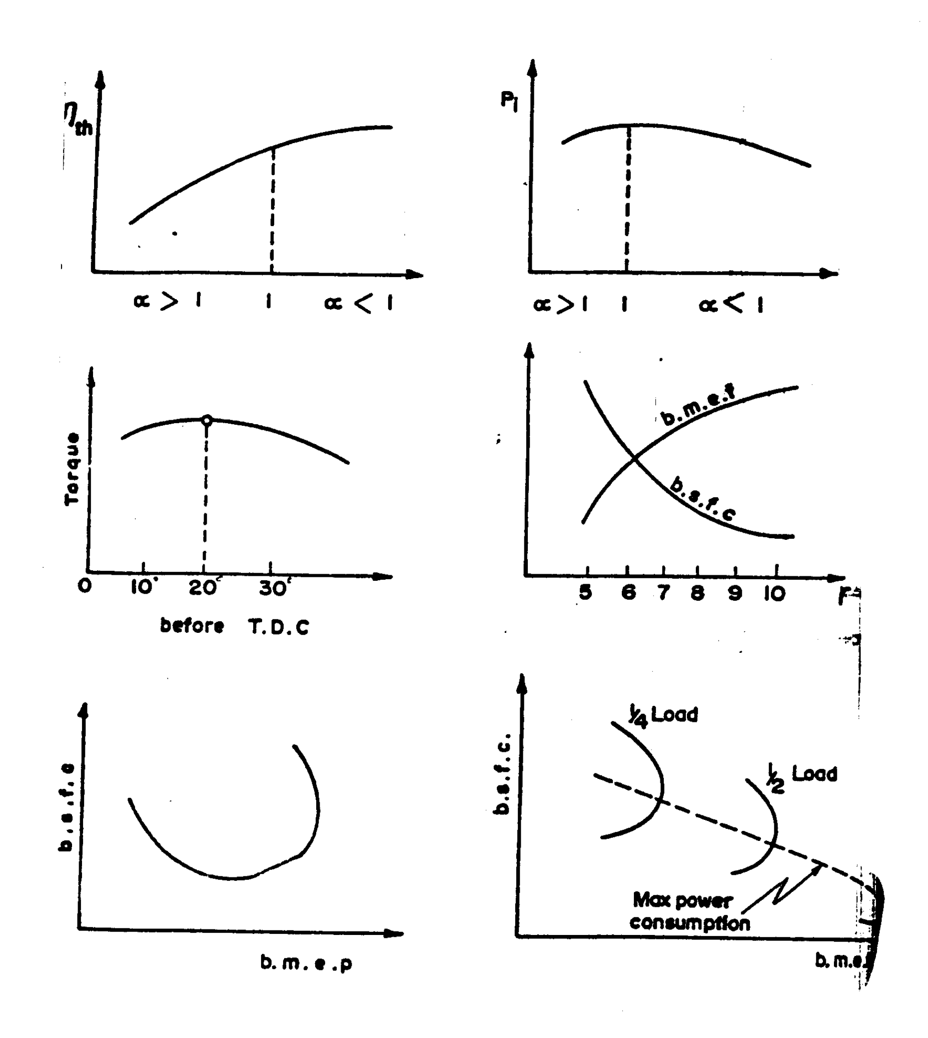
منحنيات الأداء لحركات الديزل

Performance Curves for Diesel Engines

محركات الديزل أما ثابتة السرعة أو متغيرة السرعة كلما زاد الحمل عند ثبوت السرعة تقل b.s.f.c حتى تصل إلى نهايتها الصغرى عند الحمل الكامل (α - 1.5)

بزيادة السرعة الدورانية يزداد b.s.f.c بسبب زيادة الفاقد الميكانيكى

فى محركات الديزل المستخدمة فى الجر Traction حيث تتغير السرعة كثيراً وتستخدم خريطة المحرك Engine map لتوضيح أداء هذه المحركات.



شكل (5-4): منحنيات الأداء لمحرك البنزين

اختبار المحركات Engine Testing

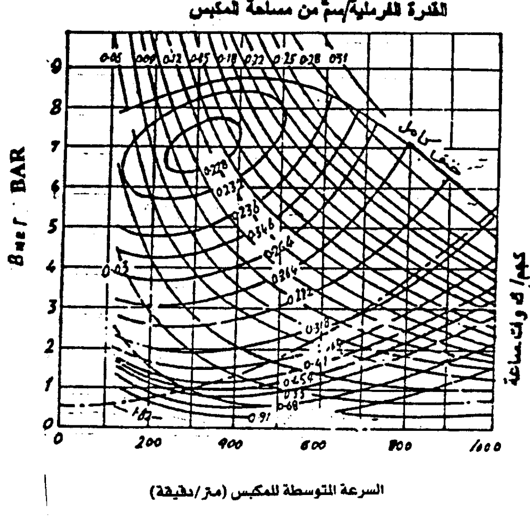
هناك قياسات أساسية يجب القيام بها لتقييم أداء أى محرك وهى:

السرعة الدورانية والقدرة الفرملية والقدرة البيانية والقدرة المفقودة فى الاحتكاك ومعدل استهلاك الوقود وكذلك استهلاك الهواء واختبارات الأتزان الحرارى لمحرك ويمكن إضافة اختبارات أخرى منها تحليل غاز العادم وكثافة الدخان وقد يكون هناك بعض القياسات الأخرى الضرورية وذلك حسب الغرض من اختبار المحرك ونستعرض فيما يلى هذه القياسات.

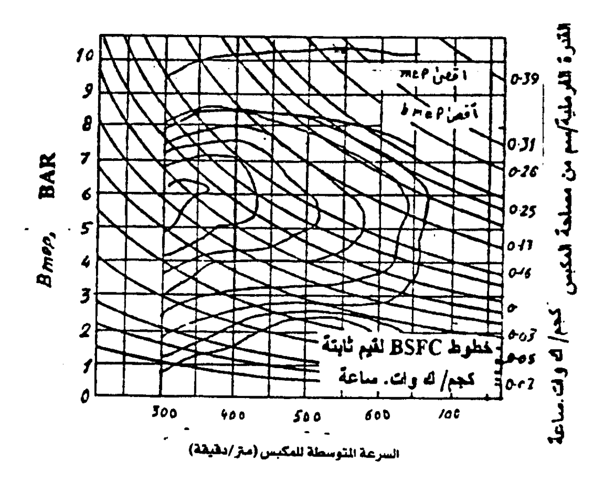
4-5-خرائط أداء المحركات (Engines Performance Maps)

يمكن تحليل أداء محرك احتراق داخلى تحت جميع ظروف الحمل والسرعة باستخدام خريطة الأداء. ويوضح شكل (4-6) خريطة الأداء لمحرك الاشتعال بالشرر أما خريطة الأداء لمحرك الاشتعال بالانضغاط رباعى الأشواط ذى غرفة أحتراق مسبقة فأنها موضحة فى شكل (4-7).

وتمثل الأشكال (4-6 — 4-7) نموذجان يمثل العلاقة بين (bmep) وسرعة المكبس وذلك عند الاشتعال على طريق مستوى وعند أعلى تحويل للسرعة. يمكن استخدام هذه الخرائط لغرض أجراء المقارنة بين محركات ذات أحجام مختلفة وذلك لتوحيد معالم الأداء عن طريق تحويل (سرعة المحرك بدلالة دورة/دقيقة) الى سرعة المكبس والقدرة لكل وحدة مساحة من مكبس. وبصورة عامة يمكن القول بأن جميع المحركات لها منطقة يكون فيها أستهلاك الوقود النوعى أقل ما يمكن (الكفاءة أعلى ما يمكن) وذلك عندما تكون سرعة المكبس منخفضة و(bmep) عالية نسبيا.



شكل (4-6) طريقة الأداء لمحرك الاشتعال بالشرارة

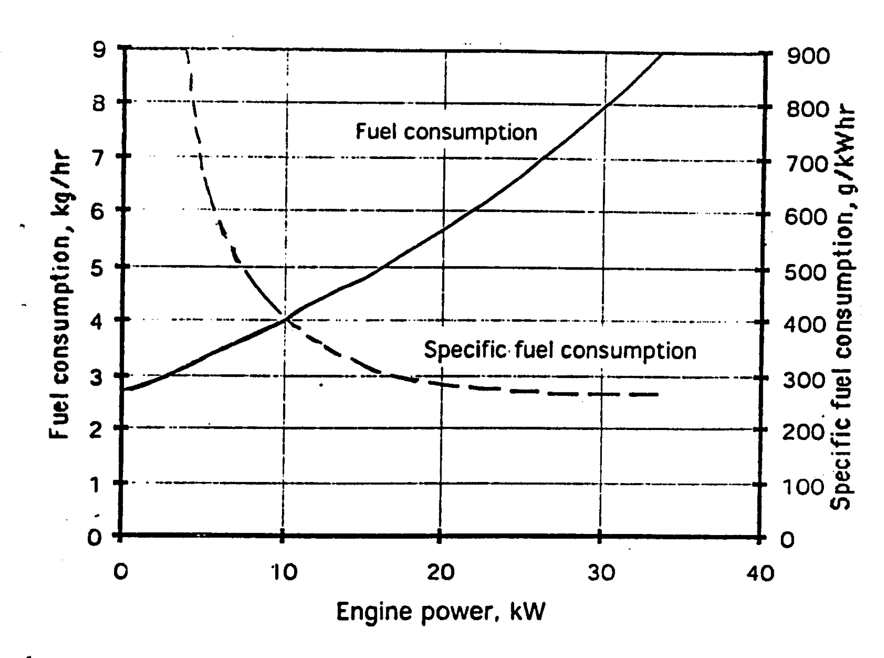


شكل (4-7): خريطة الأداء لمحرك الاشتعال بالانضغاط رباعى الأشواط

1- منحنيات معدل أستهلاك الوقود (B. S .F. C& BP)

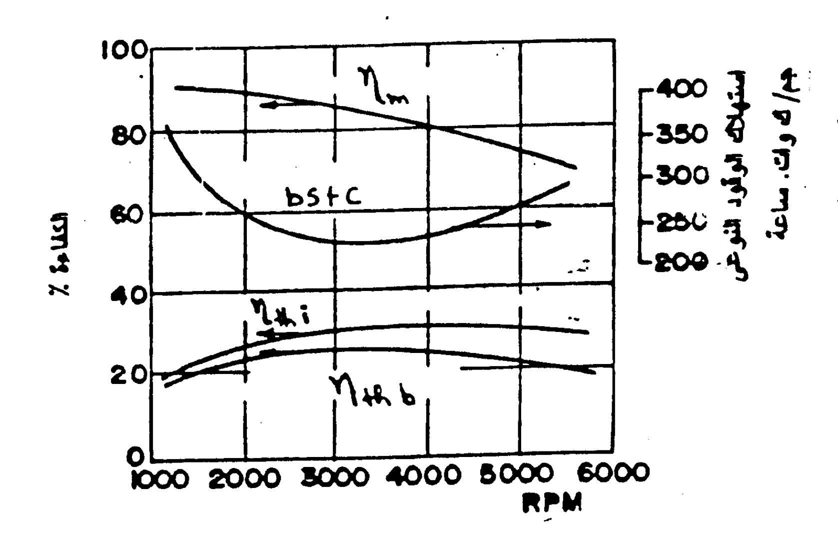
معدل استهلاك الوقود النوعى يستخدم لمقارنة أداء المحرك نفسه ولا يستخدم للمقارنة بين المحركات المختلفة فى حجم الإزاحة. وفى الآونة الأخيرة زاد الاهتمام بتقييم أداء المحرك باستخدام كفاءة الوقود (كيلووات. ساعة/لتر kW.h/liter) وهو مقلوب معدل استهلاك الوقود النوعى.

برسم العلاقة بين قدرة المحرك ومعدل استهلاك الوقود مع ثبوت السرعة يمكن تحديد مقدار الحمل الكامل الذى عنده يكون المحرك أكثر أقتصادا إذ يستهلك أقل معدل للوقود (شكل 4-8).

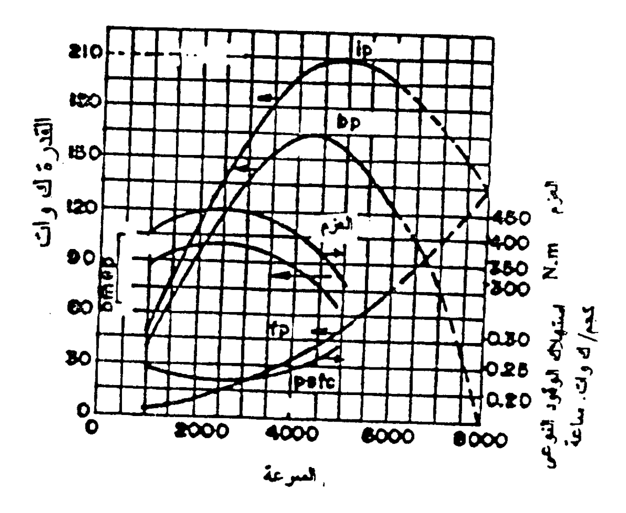


شكل (4-8): العلاقة بين القدرة ومعدل أستهلاك الوقود النوعى الفرملى

ويوضح شكل (4-9) الكفاءة الحرارية الفرملية والكفاءة الحرارية البيانية، والكفاءة الميكانيكية، واستهلاك الوقود النوعى لمحرك الأشتعال بالشرر. ويوضح شكل (4-10) القدرة البيانية والقدرة الفرملية ومتوسط الضغط الفرملى الفعال وأستهلاك الوقود النوعى.



شكل (4-9) العلاقة بين سرعة المحرك والكفاءات الحرارية



شكل (4-10) سرعة المحرك وقدراته

من الأشكال السابقة يمكن أن نستنتج ما يلى:

1- يتراوح مقدار التغير فى الكفاءة الحرارية الفرملية عندما يكون الخانق مفتوحا كاملا عند السرع المختلفة ما بين 20 الى 27٪ وتكون الكفاءة أقصى ما يمكن عند مدى السرعة المتوسطة.

2- النسبة المئوية للحرارة المفقودة الى منظومة التبريد تكون أكثر عند السرعة البطيئة (حوالى 35٪) وتقل عند السرعة العالية (حوالى 25٪) ويجب الأخذ فى الأعبار أنه عند السرعة العالية تزداد كمية الحرارة الخارجة مع العادم.

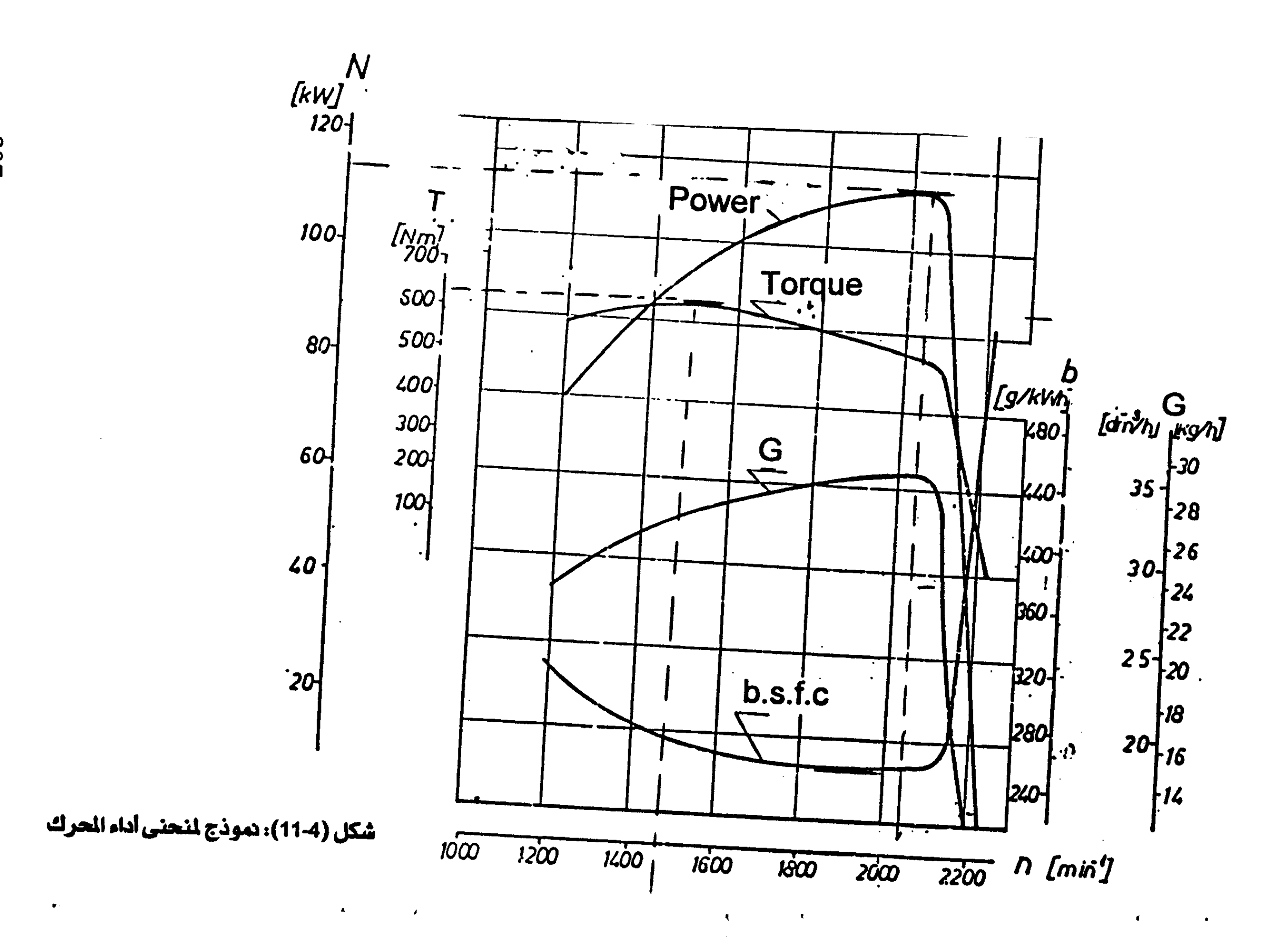
3- عدم أعتماد العزم ومتوسط الضغط الفعال بدرجة كبيرة على سرعة المحرك. ولكنهما يعتمدان على الكفاءة الحجمية وخسائر الاحتكاك. يتطابق موقع أقصى عزم مع موقع أقصى كفاءة حجمية أو موقع الحد الأقصى لشحنة الهواء. تقع ذروة منحنى العزم ومنحنى متوسط الضغط الفعال عند نصف مقياس القدرة تقريبا.

ويلاحظ أنه يتضاعف العزم عند مضاعفة حجم المحرك. أما متوسط الضغط الفعال فأنه لا يعتمد على حجم المحرك.

4- تزداد القدرة بزيادة السرعة، مضاعفة السرعة تؤدى الى مضاعفة القدرة حتى تصل الى أقص قدرة.

5- القدرة الأحتكاكية تكون قليلة عند السرعة المنخفضة وقيمة (dp) تكون متقاربة لقيمة (ip) وعند زيادة سرعة المحرك تزداد القدرة الاحتكاكية بمعدلات كبيرة مما يؤدى الى وصول قيمة القدرة الفرملية الى القمة ومن ثم تبدأ بالأنخفاض حتى وأن أزدادت قيمة القدرة البيانية. وعندما تكون سرعة المحرك أعلى من معدل التشغيل الأعتيادية فأن القدرة الأحتكاكية تزداد بسرعة كبيرة، كما أن قيمة (ip) تصل الى الحد الأقصى ومن ثم تبدأ بالأنخفاض عند السرعة العالية. هناك نقطة معينة تتساوى فيها قيمة (lp) وقيمة (fp) وبعدها تنخفض قيمة (dp) الى الصفر.

وبشكل عام يستخدم منحنى الأداء الموضح بشكل (4-11) والذى يمثل العلاقة بين سرعة المحرك وكل من القدرة الفرملية والعزم على عمود الكرنك واستهلاك الوقود النوعى للتعبير على اداء المحرك وسلوكه أثناء التشغيل.



شكل (4-11): نموذج لمنحنى أداء المحرك

مقارنة بين محركات الاشتعال بالشرارة ومحركات الأشتعال بالانضغاط

تعرضنا سابقاً للدورة الحرارية لكلا من محركات الاشتعال بالشرارة " محركات البنزين " ومحركات الاشتعال بالانضغاط "محركات الديزل "، حيث يتشابه المحركين فى أن كلا منهما من نوع محركات الاحتراق الداخلى وأيضا كلاهما يشتغل بالوقود السائل. ولكن هناك بعض الاختلافات الأساسية التى تجعل طريقة عملهما مختلفة.

الاختلاف بين محركات الديزل ومحركات البنزين فيما يلى:

أولا- من حيث التشغيل:

1- تعتبر دورة أوتو، الدورة المثالية لمحرك الاشتعال بالشرارة بينما تعتبر دورة الديزل أو الدورة المختلطة الدورة المثالية لمحرك الاشتعال بالانضغاط. ودورة أوتو أكفأ من دورة الديزل فى حالة تساوى نسبة الانضغاط وكمية الحرارة الداخلة لما كانت نسبة الانضغاط المستخدمة فى محركات الديزل أكبر بكثير من النسب المستخدمة فى محركات البنزين، لذلك فأن كفاءة محركات الديزل من الناحية العملية على من كفاءة محركات البنزين.

2- فى محركات الاشتعال بالشرارة يتم خليط الهواء والوقود بواسطة المغذى (الكاربيراتير) خارج أسطوانة المحرك ويدخل الخليط الى الأسطوانة عن طريق صمام السحب ويتم أشعاله بواسطة شرارة كهربائية. ويمكن السيطرة على السرعة والحمل فى المحرك بواسطة صمام الخانق (تنظيم كمى) بمعنى أن نسبة الهواء الى الوقود فى محرك الاشتعال بالشرارة ثابته تقريبا لكل الاحمال. فى محرك الأشتعال بالأنضغاط يسحب الهواء فقط الى غرفة الأحتراق وفى نهاية شوط الأنضغاط يتم حقن الوقود ويحدث الأشتعال تلقائيا بسبب درجة الحرارة العالية الناتجة عن نسبة الانضغاط العالية، ويحدث الاشتعال فى نقاط عديدة داخل غرفة الأحتراق فى نفس اللحظة حيث لا يوجد هناك جبهة لهب مفردة كما هو الحال فى محرك الاشتعال بالشرارة، ويتم التحكم فى السرعه والحمل فى محرك الاشتعال بالانضغاط من خلال تنظيم كمية الوقود التى تم حقنها

(تنظيم نوعى) ونسبة الهواء الى الوقود تتغير بتغير الحمل فى محرك الاشتعال بالانضغاط.

3- تزيد نسبة الانضغاط فى محركات الديزل زيادة كبيرة عنه فى محركات البنزين أو بمعنى آخر أن نسبة الانضغاط المستعملة فى محركات البنزين محدودة لأن الضغط يجرى على كل من الهواء والوقود، فلو ضغط مزيج من الهواء والوقود الى درجة مرتفعة تزيد درجة حرارته ويشتعل ذاتيا، وربما يشتعل المزيج مبكرا وقبل أن يتم المكبس شوط الانضغاط ويعمل على مقاومة حركة المكبس ويحاول إيقافه. وحتى أنه اذا ما زاد الضغط ، ولو قليلا من الضغط الواجب فسوف يتسبب عن ذلك حدوث الصفع، حيث يحترق جزءا من المزيج لحظيا قبل ان يصله لهب الشرارة الكهربية. وتعتمد نسبة الانضغاط على خاصية الوقود لمنع الصفع (العدد الأوكتينى) حيث تزداد نسبة الانضغاط بزيادة العدد الوكتينى للوقود. أما فى محركات الديزل لا تحدث ظاهرة الصفع من نسبة الأنضغاط بل يؤدى ذلك الى تقليل الطرق. واستخدام نسبة الضغط العالية فى محرك الاشتعال بالانضغاط بالمقارنة مع محرك الاشتعال بالشرارة يعد السبب فى ارتفاع الكفاءة الحرارية لمحرك الأشتعال بالانضغاط عن محرك الأشتعال بالشرارة.

4- الحد الأقصى للضغط أعلى من محرك الاشتعال بالانضغاط عن محرك الاشتعال بالشرارة بمقدار ٣٠٪-٤٠٪، لذلك فأن هيكل محرك الاشتعال بالانضغاط أقوى من محرك الاشتعال بالشرارة. ولذلك لكى يتمكن من تحمل الضغوط العالية التى يتطلبها عمل المحرك مما يجعلها تدوم لفترة أطول ولكنها فى نفس الوقت تكون اثقل وأغلى ثمنا.

5- بصفة عامة فأن سرعة محركات الاشتعال بالشرارة (السولار) أعلى من سرعة محركات الاشتعال بالانضغاط.

6- الوقود المستعمل فى محركات الديزل وقودا ثقيلا بطىء التبخر عن الوقود المستعمل فى محركات البنزين. وهذا الوقود الثقيل أرخص من البنزين.

7- يعد محرك الأشتعال بالانضغاط أكثر ملاءمة للشحن الزائد *Super charging* بالمقارنة مع محرك الاشتعال بالشرارة ومحركات الطائرات وبعض محركات سباق السيارات هى محركات الاشتعال بالشرارة التى تستخدم الشحن، بينما فى محركات الاشتعال بالانضغاط يمكن استخدام الشحن فى جميع التطبيقات.

8- فى محرك الأشتعال بالشرارة المتعدد الأسطوانات تتم عملية توزيع الخليط بواسطة صمام السحب وتختلف نسبة الهواء الى الوقود بين الأسطوانات، بمعنى أن توزيع الوقود بين الأسطوانات غير منتظمة أما فى محركات الاشتعال بالانضغاط فأن نظام الحقن يقوم بتوزيع جيد للوقود الى الأسطوانات.

9- الكفاءة الحرارية لمحرك الاشتعال بالأنضغاط أعلى منها لمحرك الاشتعال بالشرارة بسبب نسبة الانضغاط العالية المستخدمة فى النوع الأول. وعليه فأن كمية الحرارة المفقودة من خلال غازات العادم بالنسبة لمحرك الاشتعال بالانضغاط أقل بالمقارنة بمحرك مع محرك الاشتعال بالشرارة. ولهذا السبب فأن درجة حرارة غازات العادم بالنسبة للنوع الأول قليله بالمقارنة مع النوع الثانى بالإضافة الى وجود وفره من الهواء فى محرك الاشتعال بالانضغاط يقلل من درجة حرارة غازات العادم *Exhaust gas temperature* .

0 1- تعد محركات الاشتعال بالشرارة أكثر سهوله عند بدء التشغيل *Starting* بالمقارنة مع محركات الاشتعال بالانضغاط، وذلك بسبب أن محركات الاشتعال بالانضغاط يلزمه جهد كبير لأدارة عمود الكرنك للتغلب على الضغط المرتفع، وبدء تشغيل محرك الاشتعال بالانضغاط فى الجو البارد صعب جدا بسبب أنخفاض درجة حرارة الهواء الإبتدائية بالإضافة الى أن كمية الحرارة المتنقلة الى غرفة الاحتراق تكون كبيرة.

ثانيا- من حيث خصائص الأداء *Performance characteristics*

1- محركات الاشتعال بالانضغاط أثقل مرتين أو ثلاث مرات من محركات الاشتعال بالشرارة، لذلك فمعدل الوزن لوحدة القدرة أكبر فى محركات الديزل عن محركات البنزين.

2- تعد محركات الاشتعال للانضغاط أفضل من ناحية التعجيل *Acceleration* وذلك بسبب سرعة السيطرة المباشرة على كمية حقن الوقود، أما بالنسبة بمحرك الأشتعال بالشرارة فأنه لا يمكن السيطرة على كمية الوقود بصورة مباشرة بل أنها تعتمد على مقدار فتحة الخانق وسرعة الهواء.

3- درجة المتانة *Reliability* لكل من محركات الاشتعال بالشرارة ومحركات الاشتعال بالانضغاط متساوية. وتعد محركات الأشتعال بالانضغاط أقوى وتتحمل العمل الشاق أكثر.ومعظم محركات الاشتعال بالانضغاط لا تعمل بطاقتها المتاحه بل أقل من ذلك مما يجعلها تحتفظ بقوتها لفترة أطول. ومن مشاكل محركات الاشتعال بالانضغاط فى تكلفة نظام الحقن العالية بالإضافة الى تعقيد جهاز التحكم فى السرعه. ولكن فى محركات الأشتعال بالشرارة فأن اغلب مشاكلها هى أما بسبب الكاربراتير أو نظام الاشتعال.

4- تعتبر محركات الديزل من المحركات ذات الكفاءة العالية وبالتالى فأنها تستهلك أقل كميه من الوقود لتوليد قدرة معينة أذا ما قورنت بمحرك البنزين بمعنى أن محرك الديزل أقتصادى فى الوقود كذلك تكلفة الوقود بالنسبة لمحرك الاشتعال بالانضغاط أقل بكثير من تكلفة الوقود بالنسبه لمحرك الاشتعال بالشرارة. وذلك لقلة استهلاك الوقود بالنسبة للنوع الأول بالإضافة الى رخص ثمن الوقود ذاته. كما أن القيمة الحرارية لوقود الديزل أقل منه لوقود البنزين، الا أن كثافة وقود الديزل اعلى من كثافة وقود البنزين وأن بيع الوقود يتم على أساس الحجم وليس على أساس الوزن.

5- وقود الديزل أكثر أمنا من وقود البنزين وذلك لأن وقود البنزين يتطاير بسرعة وذلك فأن احتمال حدوث الحريق أكثر، أما وقود الديزل فهو أقل تطايرا من وقود البنزين كما أن احتمال تكوين خليط متفجر فى حالة انسكاب وقود الديزل أقل بالمقارنة مع وقود البنزين وخاصة فى الأماكن الضيقة كالسفن

ثالثا: من حيث التكاليف COST

1- أن التكلفة الابتدائية *Initial Cost* لمحرك الاشتعال بالشرارة (تكاليف الأنتاج) دائما أقل من التكلفة الابتدائيه لمحرك الاشتعال بالانضغاط فى حالة تساوى القدرة الفرملية للمحركين. والسبب فى ذلك يعزى الى أن محرك الاشتعال بالشرارة أخف وزنا من محرك الاشتعال بالانضغاط كما أن نظام الوقود المستخدم فيه أقل تكلفة بالمقارنة مع نظام الوقود فى محرك الاشتعال بالأنضغاط، الا أن العمر الطويل لمحرك الاشتعال بالانضغاط يمكن أن يعوض التكلفة الأبتدائية العالية للمحرك وذلك لعدم استخدام المحرك الى أقصى قدرة مما يؤدى الى تقليل التلف والتآكل عند الأستعمال.

2- تكاليف الصيانه *Cost Maintenance* لمحرك الأشتعال بالانضغاط أعلى بكثير من تكاليف صيانة محرك الاشتعال بالشرارة وذلك لسببين: الأول هو التكاليف العاليه عند استبدال أجزاء من نظام الحقن. والثانى هو ارتفاع أجور صيانة محرك الأشتعال بالانضغاط بصورة عامة عن صيانة محرك الاشتعال بالشرارة.

مزايا محرك الأشتعال بالشرارة

هناك بعض العوامل التى يجب أن تأخذ فى الاعتبار عند اختيار نوع المحرك وذلك حسب طبيعة ونوعية الاستخدام. وأهم مزايا محركات الاشتعال بالشرارة:

1- التكاليف الابتدائية قليلة.

2- وزن المحرك لقدرة معينة قليلة بالمقارنة مع محرك الديزل.

3- حجم المحرك لقدرة معينة صغيرة بالمقارنة مع محرك الديزل.

4- سهولة بدء التشغيل.

5- مستوى الضوضاء قليل.

6- كمية غازات العادم قليلة.

7 - يستخدم محرك الأشتعال بالشرارة بصورة واسعة جدا فى السيارات من أجل راحة الركاب. كما أنه يستخدم فى الطائرات الصغيرة لخفة وزنه. ويستخدم

محرك الاشتعال بالشرارة الثنائى الأشواط بصورة واسعة جدا فى الدراجات ذات المحرك والزوارق النهرية والبحرية ومضخات الهواء وذلك بسبب بساطة المحرك وتكاليفة القليلة.

مزايا محركات الديزل:

1 - قلة الوقود المستهلك: تعتبر محركات الديزل من المحركات ذات الكفاية العالية لأنها تستهلك أقل كمية من الوقود لتوليد قدرة معينة أذا ما قورنت بغيرها من المحركات الأخرى (ما عدا التربينات البخارية الكبيرة) فكمية الوقود المستهلك تقل كثيرا عما يستهلك فى محركات البنزين وعلى ذلك فمحرك الديزل أقتصادى للغاية.

2- رخص ثمن الوقود: تستعمل محركات الديزل وقودا رخيص الثمن، أذ أن ثمنه يقل عن ثمن البنزين بكثير.

3- اقتصادية عند الأحمال الصغيرة: وهى الحالة التى تشتغل عليها المحركات معظم الوقت عندما يدور محرك ديزل محملا بنصف الحمل الكامل يستهلك زياده فى الوقود حوالى ١٠٪ مما يلزم لكل وحدة قدرة عند الحمل الكامل، أما جميع المحركات الأخرى فأن كفايتها تقل كثيرا عندما يخف الحمل.

4- أكثر أمنا : أن الوقود المستعمل فى محركات الديزل غير قابل للانفجار لأن درجة اشتعاله أكبر من البنزين. وفى الحقيقة يتطلب مجهودا خاصا لاشتعاله ومثله مثل الفحم.

عيوب محركات الديزل:

1- أرتفاع الثمن: نظرا لأرتفاع الضغوط العالية المستعملة لتشغيل محرك ديزل مما يدعو الى متانة بنائها وجودة المعادن المستعملة فى صناعة أجزائها ودقة تركيبه عن محركات البنزين، لهذا فهى أغلى ثمنا.

2- ثقل وزنها: نظرا لما يتطلبه بناء المحرك من متانة كما سبق ذكر ذلك لهذا يزيد وزنها كثيرا عن محرك البنزين المعادل له فى القدرة.

3- العناية: تتطلب محركات الديزل عناية كبيرة لكل وحدة قدرة بالمقارنة بالتربينات البخارية الكبيرة.

4- الحيــــز : تشغل محركات ديزل حيزا أكبر مما تشغله التربينات البخارية وذلك فى حالة القدرة الكبيرة.

ومما سبق يمكن معرفة الأسباب التى أدت الى تفضيل محركات آخرى عن محركات الديزل لبعض الأعمال كالآتى:

(أ) الطائرات - تستعمل محركات البنزين لأنها أخف وزنا.

(ب) السيارات العاديه - تستعمل محركات البنزين لرخص ثمنها.

(ج) توليد القوى الكهربيه فى المدن الكبيرة - تستعمل تربينات بخارية كبيرة لقلة العنايه اللازمة لها.

ملحق 1

المفاهيم الهندسية الأساسية

Basic Engineering Concepts

المفاهيم الهندسية الأساسية

Basic Engineering Concepts

الوحدات والأبعاد الهندسية Units and Dimensions

- البعد Dimension

هو المفهوم الأساسى المستخدم لوصف كمية فيزيائية مثل الطول والكتلة والزمن. ويجب أن تكون أبعاد اى معادلة فى الطرفين متوافقة.

- الوحدة Unit

هى وسيلة التعبير عن مقدار الأبعاد

متر (m) للطول & ثانية (sec) للزمن & نيوتن (Newton) للقوة

الوحدات الأساسية Base Units

هى عبارة عن سبع وحدات أساسية تتكون منها جميع الكميات الهندسية وهى:

1- الطول Length
2- الكتلة Mass
3- الزمن Time
4- درجة الحرارة Temperature
5- شدة التيار الكهربى Electric current
6- شدة الاضاءة
7- وزن الجزئ

الأنظمة الشائعة للوحدات Common System of Units

قديما كان هناك النظام الانجليزى والنظام المترى (الفرنسى) ولكل نظام وحدات للتعبير عن الكميات الهندسية المختلفة. تختلف قيمة هذه الوحدات من نظام إلى آخر. وقد تم الاتفاق على استخدام نظام موحد لهذه الوحدات ويسمى بالنظام العالمى للوحدات The International system of units ويرمز له بالرمز SI وذلك بغرض توحيد استعمال الوحدات والرموز والكميات طبقاً لتوجيه عدة منظمات دولية. إلا أن هناك بعض البيانات تسجل بالوحدات النظام الانجليزى أو النظام الفرنسى لذا فهناك ضرورة للتعرف على الأنظمة الأخرى. ويوضح جدول(1) أنظمة الوحدات الشائعة الاستخدام.

الأعداد التعبيرية فى وحدات Expressing Numbers in SI units (SI)

جدول (2) يوضح مجموع من البادئات القياسية تستخدم مع وحدات (SI) لتشكل المضاعفات.

قواعد إظهار الأرقام التعبيرية

1- يجب ان تختار بادئة الوحدة (جم – نيوتن) عندما تكون القيمة العددية ما بين 0.1 إلى 999.

2- يجب ان لا يفصل فارغ بين رمز البادئة ورموز الوحدة مثال ذلك:

(kg ،km ،kW)

جدول (1) أنظمة الوحدات الشائعة الاستخدام

	الطول length	الزمن time	الكتلة mass
النظام الأنجليزى ES	قدم ft بوصة in	ثانية Sec	باوند (رطل) lb
النظام الفرنسى MS (المترى)	سم cm متر m	ثانية Sec	كجم kg
النظام العالمى SI	مم mm متر m	ثانية Sec	نيوتن Newton

الكميات الهندسية المشتقة :

هناك بعض الكميات الهندسية المشتقة من الكميات الأساسية وهى:

1- المساحة **Area**

تعتبر وحدة المساحة هى مربع وحدة الطول ويعبر عنها فى النظام العالمى للوحدات IS متر مربع m^2 **أو مم**^{2} mm .

وقد أتفق أيضاً على التعبير عن مساحة الأراضى بالأتى:

فى أوربا : الهكتار hectare

1 hactar = 10000 m^2

جدول (2) البادئات القياسية

عربى	انجليزى	الأس العشرى
يوكتز	Yocto	10^{-24}
زبتو	Zepto	10^{-21}
ادتو	Atto	10^{-18}
فيمتو	Femto	10^{-15}
بيكو	Pico	10^{-12}
نانو	Nano	10^{-9}
ميكرو	Micro	10^{-6}
مللى	Milli	10^{-3}
سنتى	Centi	10^{-2}
ديس	Deci	10^{-1}
ديكا	Deka	10^{1}
هيكتو	Hecto	10^{2}
كيلو	k.lo	10^{3}
ميجا	Mega	10^{6}
جيجا	Giga	10^{9}
تيرا	Tera	10^{12}
ميتا	Peta	10^{15}
إكسا	Exa	10^{18}
زيتا	Zetta	10^{21}
يوتا	Yotta	10^{24}

فى أمريكا وانجلترا: الأيكر acre

1 acre= 4046.85 m^2

فى مصر: فدان feddan

1 feddan = 4200.83 m^2 = 4200 m^2

فى الدول العربية دونم ويعادل 1000 m^2

2- الحجم Volume

وحدة الحجم هى مكعب وحدة الأطوال ويعبر عنها فى النظام العالمى للوحدات IS بـ متر مكعب m^3 أو مم^3 mm^3

كما يستعمل اللتر liter للتعبير عن حجم السوائل والغازات

1 liter = 1000 cm^3 1 لتر = 1000 سم^3

1 m^3 = 1000 liter 1 متر^3 = 1000 لتر

3- السرعة Velocity أو Speed

إذا تحرك جسم فإنه يغير مكانه ويقطع الجسم أثناء التحرك مسافة L فى زمن معين t فتكون السرعة هى خارج قسمة المسافة على الزمن.

وعلى ذلك يمكن تعريف السرعة بأنه معدل تغير المسافة التى يقطعها جسم ما بالنسبة للزمن، اى معدل حركة الجسم

$$\upsilon = \frac{dL}{dt}$$

ووحداتها متر/ث (m/sec) أو كم/ساعة (km/h)

والسرعة كمية متجهة بمعنى أن لها مقدار واتجاه وخط عمل، ويمكن تمثيلها بيانياً بخط فى نفس اتجاهها وطوله يمثل مقدارها.

4- السرعة الزاوية Angular Velocity

هى سرعة دوران نقطة حول محور مثال ذلك سرعة المحرك (سرعة عمود الكرنك) يعبر عنها بـ لفة/ دقيقة r.p.m فى كل الوحدات وفى النظام العالمى للوحدات يعبر عن السرعة الزاوية rad/s

$$1\, r.p.m = 2\pi/60 \qquad rad/s$$

5- السرعة المحيطية

تبلغ المسافة التى تقطعها نقطة واقعة على محيط جسم يدور، فى اللفة الواحدة طول المحيط $\pi.D$ حيث D قطر الدائرة (m) والمسافة التى تقطعها النقطة فى عدد من اللفات n هى $\pi.D.n$

على ذلك السرعة المحيطية هى المسافة التى تقطعها نقطة واقعة على محيط الدائرة فى الثانية الواحدة :

$$\upsilon = \pi D n x 60$$

حيث :

V = السرعة المحيطية m/sec

D = قطر الدائرة (m)

n = سرعة الدورانية (r.p.m)

6- العجلة Acceleration

وهى معدل تغير السرعة بالنسبة للزمن $a = \frac{dv}{dt}$

ووحداتها متر/ث^2 (m/sec^2) وهى كمية متجهة ايضاً مثل السرعة

7- القوة Force

تعرف بأنها العامل الذى يؤثر على جسم ما ويغير من حالة اتزانه. وحالة الاتزان هى وجود الجسم فى حالة سكون أو فى حالة حركة منتظمة فى خط مستقيم. وتحدد القوة بثلاثة عناصر هى المقدار والاتجاه ونقطة التأثير.

ونتيجة لتأثير القوة على الجسم فإنها تكسبه عجلة فى نفس اتجاه القوة. وهذه العجلة تتناسب طردياً مع مقدار القوة المؤثرة أما ثابت التناسب فهو كتلة الجسم وبالتالى فأن:

القوة = كتلة × عجلة $F = m \times a$

حيث:

F = القوة Force نيوتن (N)

M= كتلة الجسم كجم (kg)

a = عجلة الجسم متر/ثانية^2 (m/sec^2)

وتستخدم وحدة نيوتن (NEWTON) أو كيلو نيوتن kN

$N = 1\ kg.\ m/sec^2$

ويعتبر النيوتن (N) الذى سمى باسم السيد إسحاق نيوتن (Isaac Newton) كوحدة للقوة التى تحرك كتلة مقدارها واحد كيلو جرام بعجلة 1 متر/ث^2.

8- العزم Torque & Bending Moment

يعرف العزم بأنه دوران الجسم ما حول أحد المحاور (نقطة دوران) نتيجة تأثير قوة (أو محصلة مجموعة من القوى) ويبعد خط عملها عن محور الدوران بمسافة عمودية على اتجاه القوة تعرف بذراع العزم، وتكون القوة تساوى حاصل ضرب مقدار القوة فى ذراعها.

العزم= القوة x ذراع العزم $T = F \times L$

حيث:

T= العزم Torque ووحداته نيوتن. متر (N.m)

F = القوة Force ووحداتها نيوتن (N

L= ذراع العزم ووحداته متر (m

9- الضغط Pressure

الضغط هو مقدار القوة الواقعة على وحدة المساحة:

الضغط = القوة / المساحة $P = \frac{F}{A}$

حيث:

F = القوة Force نيوتن (N)

A = المساحة Area متر^2 (m^2)

P = الضغط pressure نيوتن/ متر^2 N/m^2

هذه الوحدة (N/m^2) تعادل وحدة بسكال (Pascal) فى النظام العالى ويرمز لها بالرمز Pa

10- الشغل Work

إذا تحرك جسم تحت تأثير قوة معينة لمسافة ما فى اتجاه هذه القوة، فيقال أن تلك القوة بذلت شغلاً ويساوى حاصل ضرب القوة فى المسافة على أن تكون المسافة فى اتجاه . أو يعرف الشغل على انه كمية الجهد المبذول لرفع ثقل مسافة راسية محددة او تحريك قوة مسافة معينة فى اتجاه تأثير القوة:

الشغل = القوة x مسافة $W = F \times L$

حيث:

W = الشغل work ، نيوتن متر (N.m)

F = القوة force، نيوتن (N)

L = المسافة Length فى اتجاه القوة متر (m)

وتعادل وحدة الشغل N.m وحدة جول (Joule) فى النظام العالى ويرمز له بالرمز J

J= N. m

ويعرف الجول Joule بأنه كمية الشغل المبذول لتحريك قوة مقدارها 1 نيوتن Newton مسافة 1 متر (m) فى اتجاه تأثير تلك القوة

12- القدرة Power

القدرة هى معدل بذل شغل معين:

$$Power = \frac{work}{time}$$

القدرة = شغل / زمن

وحدات القدرة (نيوتن. متر/ث) N.m/sec

يطلق على هذه الوحدات وات Watt ويرمز له بالرمز W ويرجع ذلك الى أواخر القرن الثامن عشر، حينما رغب جيمس وات (James Watt) أن يقدر محركاته البخارية بدلالة المنافس وذلك الوقت وهو الحصان. وقام بإجراء سلسلة من الاختبارات بخيول متوسطة ووجد ان الحصان يمكن أن يرفع 366 رطل من الفحم خارج المنجم بمعدل 1 قدم/ث. قام وات بزيادة هذه القيمة بنسبة 50٪ ليقلل تقدير محركاته بشكل متعمد. ومنذ ذلك الحين استخدم المقدار الناتج، كوحدة أساسية للقدرة الحصانية (HP) horse power، وهو يعادل 550 قدم. رطل/ث، وفى النظام المترى (الفرنسى) استخدام أيضا الحصان لتعبير عن وحدة القدرة حيث يعرب عن الحصان بأنه القدرة اللازمة لشد قوة مقدارها 75كجم لمسافة متر خلال زمن مقداره 1 ثانية أى أن الحصان يعادل 75كجم متر/ث.

وعند استخدام النظام العالى للوحدات تم تسمية وحدة القدرة بالوات (W). وتعتبر وحدة الوات قدرة مكافئة لتحرك قوة مقدارها 1 نيوتن لمسافة مقدارها متر واحد خلال ثانية واحدة.

ويعادل الحصان = 745.7 وات (HP = 745.7 W)

أو الكيلو وات = 1.341 حصان (kW = 1.341 HP)

ويعبر عن القدرة الميكانيكية من خلال صيغتين: الأولى القدرة الخطية، وهذه تحدث عندما تبذل قوة مع سرعة خطية.

القدرة = (القوة × المسافة) / زمن = القوة x السرعة

$$P = \frac{F.L}{t} = F.V$$

حيث: P القدرة و F القوة و L المسافة و t الزمن و V السرعة

والصيغة الثانية تكون القدرة الدورانية وهى القدرة التى تنقل من خلال دوران أجسام وتحسب القدرة الدورانية

$$P = \frac{2\pi NT}{60}$$

حيث: P = القدرة بالوات (W)

N سرعة دوران العمود لفة/ دقيقة (r.p.m)

T مقدار العزم على العمود نيوتن. متر (N.m)

13- الطاقة Energy

الطاقة هى مقدرة جسم ما على بذل شغل معين، أى انه شغل مخزون فى ذلك الجسم. وحدات الطاقة(وات.ث) W.sec او كيلو وات. ساعة kW.h

الطاقة قد تكون ظاهرة (متحركة) يمكن الإحساس بها وقياسها، أو مختزنة Stored (كامنة Latent) يمكن تحويلها إلى ظاهرة. عموماً يمكن تصنيف الطاقات إلى ستة أنواع رئيسية كالآتى:

1- الطاقة الميكانيكية Mechanical Energy:

هى الطاقة التى يمكن أن تؤدى فى صور مختلفة مثل طاقة الوضع وطاقة الحركة، يمكن استخدامها مباشرة وتحويلها بسهولة إلى أنواع أخرى.

2- الطاقة الكهربية Electrical Energy:

تنتج بمرور الألكترونات فى الموصلات الكهربية، وهى أرقى أنواع الطاقة وأفضلها لدى الإنسان حيث تتميز ببساطة استخدامها وسهولة تحويلها إلى الأنواع الأخرى من الطاقة، ويمكن تخزينها فى صورة مجال كهربى أو كهروستاتيكى.

3- الطاقة الكيميائية Chemical Energy:

وهى طاقة مختزنة فقط تظهر عند التفاعلات الكيميائية مثل احتراق الوقود ومرور التيار من بطارية. فالوقود يحتوى على طاقة كيميائية مختزنة به، لا تنطلق إلا عندما يحترق (يتفاعل مع الأكسجين) حيث تتحول الطاقة الكيميائية للوقود إلى طاقة حرارية. وبطارية السيارة الجرار أيضاً تحتوى على طاقة كيميائية تتحول إلى كهربائية عند توصيل قطبيها بدائرة خارجية.

4- الطاقة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Energy:

وتنتقل على هيئة أشعة كهرو مغناطيسية Electromagnetic waves بسرعة الضوء ولكن بأطوال موجية مختلفة. ومن امثلتها الإشعاع الحرارى وأشعة إكس، وموجات الراديو.

5- الطاقة الحرارية Thermal Energy:

وهى أبسط وارخص أنواع الطاقة حيث يسهل الحصول عليها باحتراق المادة أو الوقود. وهى أيضاً أدنى أنواع الطاقة إذ يصعب استخدامها مباشرة فى جوانب الحياة المختلفة، كما أنه ليس من السل تحويلها إلى أنواع الطاقة الأخرى، الطاقة الحرارية هى مقياس لحركة جزئيات المادة، والصورة الظاهرة لها هى الحرارة Heat التى تنتقل من الأجسام الساخنة إلى الباردة، ويمكن تخزينها فى المواد المختلفة على هيئة حرارة محسوسة Sensible heat أو كامنة Latent heat.

6- الطاقة الذرية Atomic Energy:

وهى طاقة هائلة مختزنة لا تظهر الا عندما تتفاعل مكونات ذرات المادة، وتنقسم إلى نوعين رئيسيين:

A- الطاقة الإنشطارية Fission Energy:

وتنطلق عند انشطار الذرات الثقيلة كاليورانيوم والبلوتونيوم إلى ذرات عناصر اخف. وهذه الطاقة، حسب قانون العالم الشهير ألبرت أينشتين، تعادل فرق الكتلة بين الذرات الثقيلة والذرات الخفيفة الناتجة عن التفاعل، وهى طاقة هائلة بالنسبة لكتلة الوقود إذا ما قورنت بالأنواع العادية الأخرى.

B- الطاقة الإندماجية Fusion Energy:

التى تنطلق من اندماج ذرات عناصر خفيفة لتكوين ذرات عناصر أثقل، مثل اندماج 4 ذرات هيدروجين لتكوين ذرة واحدة من الهليوم. هذا التفاعل يحدث فى الشمس وتنطلق منه الطاقة الشمسية.

ملحق (2)

المصطلحات الفنية المستخدمة

بعض المصطلحات الفنية المستخدمة فى هذا الجزء

يعطى هذا الملحق مرجعاً مصغراً عن مصطلحات المحرك الواردة فى هذا الجزء بغرض استعادة ذاكرة القارئ وتذكيره بسرعة بمصطلحات المحركات التى يحتاجها. فى حين توجد بالكتاب تعاريف وإيضاحات أشمل وأكثر

Air Cleaner "Air Filter"	فلتر الهواء
Air Cooling System	نظام التبريد بالهواء
Air Fan	مروحة الهواء
Air Fuel Ratio	نسبة خلط الهواء إلى الوقود
Air Pressure	ضغط الهواء
Atmospheric Pressure	الضغط الجوى
Battery	بطارية
Bearing	محمل كرسى
Bearing Caps	أغطية الكرسى
Big End	النهاية الكبرى لذراع التوصيل
Bore of Cylinder	قطر الاسطوانة
Bottom Dead Center = T.D.C	النقطة الميتة السفلى (ن.م.س)
Brake	فرملة
Brake Horsepower	القدرة الفرملية
Calorific value "Heating"	القيمة الحرارية
Cam	كامة
Cam Shaft	عمود الكامات
Carbon	كربون
Carbon Dioxide	ثانى أكسيد الكربون
Carburetor	الكاربيراتير (المغذى)

Centrifugal Force	القوة الطاردة المركزية
Clearance	خلوص
Combustion	الاحتراق
Combustion Chamber	غرف الاحتراق
Compression – space Volume	حيز الانضغاط (غرفة الاحتراق)
Compression Ratio	نسبة الانضغاط (الكبس)
Compression Rings	حلقات الانضغاط (شنابر الضغط)
Compression Stroke	شوط الانضغاط
Connecting Rod Bearing	كراسى ذراع التوصيل
Connecting Rod Cap	غطاء كرسى ذراع الاتصال
Connecting Rods	أذرع التوصيل
Cooling Fan	مروحة التبريد
Cooling Fine	زعانف التبريد
Cooling Fluid	سائل التبريد
Cooling Jacket	قميص التبريد
Cooling System	دورة التبريد
Crank	المرفق (الكرنك)
Crank Case	علبة المرفق (الكرنك)
Crank Shaft	عمود المرفق (عمود الكرنك)
Crankcase Ventilator	متنفس علبة المرفق
Cycle	دورة
Cylinder	الأسطوانة
Cylinder Block	كتلة الأسطوانات
Cylinder Head	رأس الاسطوانات
Cylinder Sleeves	قمصان الإسطوانة
Diesel Cycle	دورة ديزل

Diesel Engine	محرك الديزل
Dipstick	مقياس مستوى الزيت
Dry liner	قميص جاف (بطانة جافة)
Engine	المحرك
Engine Efficiency	كفاءة المحرك
Engine Power	قدرة المحرك
Engine Torque	عزم دوران المحرك
Exhaust Manifold	مجمع العادم
Exhaust Ports	فتحات العادم
Exhaust Stroke	شوط (مشوار) العادم
Exhaust Value	صمام العادم
Exhaust valve	صمام الخروج (العادم)
Expansion Stroke	شوط (مشوار) التمدد
External Combustion Engine	محركات احتراق خارجى
Fan	مروحة
Fan belt	سير المروحة
Firing Order	ترتيب الاشتعال
Flat Top Valve	الصمام ذو السطح المستوى
Flywheel	الحدافة
Four – stroke Otto Engine	محرك اوتو رباعى الأشواط
Four Cycle	دورة رباعية
Four-Stroke Cycle	دورة رباعية الأشواط
Fuel Consumption	استهلاك الوقود
Fuel Filter	مرشح (فلتر) الوقود
Fuel Injection Pump	مضخة حقن الوقود
Fuel Pump	مضخة الوقود

Fuel System	دورة الوقود
Fuel System	دورة التغذية بالوقود
Gasket	الحشو
Gasket Cement	لصاق الحشية
Gasoline	البنزين (جازولين)
Heat Loss	الفقد الحرارى
Heat of Compression	حرارة الاحتراق
Heat of Compression	حرارة الانضغاط
Heat Regection	التخلص من الحرارة
Horse Power	قدرة الحصان
I.C.E	محركات الاحتراق الداخلى
Ignition System	نظام الاشعال
Ignition Timing	توقيت الاشتعال
In line Engine	محركات مستقيمة
Inlet valve	صمام الدخول (السحب)
Intake Stroke	شوط (مشوار) السحب
Intake Valve	صمام السحب
Internal Combustion Engines	محركات احتراق داخلى
L-head Engine	محرك برأس إسطوانة شكل L
Liquid Petroleum Gas (LPG)	غاز بترولى سائل
Lubricating System	دورة التزييت
Lubrication System	دورة التزييت
Main Bearings	الكراسى الرئيسية
Main Fold	مجرى التوصيل
Mean Effective Pressure (MEP)	متوسط الضغط الفعال
Mechanical Efficiency	الكفاءة الميكانيكية

Oil – Control Rings	شنابر الزيت (التحكم فى الزيت)
Oil Filter	فلتر (مرشح) الزيت
Oil Pan	علبة الزيت (كارتير)
Oil Pipes	مواسير الزيت
Oil Pressure Gauges	مبين ضغط الزيت
Oil Pressure Regulating Valve	صمام منظم ضغط الزيت
Oil Pump	مضخة الزيت
Open Cooling System	نظام التبريد المفتوح
Opposed Cylinder Engine	محركات متقابلة الأسطوانات
Otto Cycle	دورة أوتو
Overhead Valve	صمام علوى
Piston	المكبس
Piston Displacement	حجم الإزاحة
Piston Rings	شنابر المكبس
Piston Skirt	جذع المكبس
Piston Stroke	مشوار المكبس (الشوط)
Piston with ring holder	مكبس بحامل حلقات (شنابر)
Piston-rings	شنابر المكبس
Port	بوابة
Power Strock	شوط القدرة
Pressure of Gases	ضغط الغازات
Prony Brake	فرملة برونى
Push Rod	ذراع رفع
Radiator	المشع (الرادياتير)
Radiator Cap	غطاء المشع (الرادياتير)
Scavenging	الكسح

Scavenging Pump	مضخة الكسح
Solid – Skirt Piston	مكبس بجذع كامل
Spark Ignition Engine	محركات الاشتعال بالشرارة
Spark Plugs	شمعات الإشعال (الاحتراق)
Specific Heat	الحرارة النوعية
Specific Volume	الحجم النوعى
Specific Weight	الوزن النوعى
Split – Skirt Piston	مكبس بجذع ذو شق
Standard Valve	الصمام القياسى
Starting The Engine	بدء إدارة المحرك
Strainer	مصفاه
Stroke	شوط (مشوار)
Suction Stroke	شوط السحب
Supercharger	مشحن
Thermal Efficiency	الكفاءة الحرارية
Thermostat	المنظم الحرارى (الثروموستات)
Top Dead Center (T.D.C)	النقطة الميتة العليا (ن.م.ع)
Tulip Valve	الصمام الخزامى
Turbulence	إثارة
Two – Stroke Petrol Engine	محرك أوتو (بنزين) ثنائى الأشواط
Types of engine	أنواع المحركات المختلفة
V- Engine	محركات على شكل حرف V
Vacuum	تفريغ
Valve	صمام
Valve – seat Inserts	حلقة مقعد الصمام المبيتة
Valve Clearance	خلوص الصمام

Valve Guide	دليل الصمام
Valve Guide	دليل الصمام
Valve Head	رأس الصمام
Valve lifter	رافع الصمام
Valve Seat	مقعد الصمام
Valve Springs	يايات الصمامات
Valve Stem	ساق الصمام
Valves	الصمامات
Velocity	سرعة
Volumetric Efficiency	الكفاءة الحجمية
Water Cooling System	نظام التبريد بالماء
Water Jackets	الجيوب (القمصان) المائية
Water Pump	مضخة الماء

المراجع

مراجع باللغة العربية:

- السعيد رمضان العشرى،6 200: طرق تجريبية فى هندسة الجرارات - مكتبة بستان المعرفة للطبع ونشر الكتب - كفر الدوار-مصر 2003.
- السعيد رمضان العشرى،3 200: محركات الأحتراق الداخلى - مكتبة بستان المعرفة للطبع ونشر الكتب - كفر الدوار-مصر 2003
- بواقيم كوتراد: هندسة الجرارات. مؤسسة الأهرام بالقاهرة بالأشتراك مع المؤسسة الشعبية للتأليف بليبزج.
- حلمى السيد جاد، تكنولوجيا السيارات. كلية الهندسة - جامعة المنصورة
- سمير محمد يونس، 1982 - الجرارات الزراعية - كلية الزراعة - الإسكندرية.
- محمد عبد المحسن شيبون - الجرارات الزراعية - كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية
- محمد نبيل العوضى، 1982: هندسة الجرارات والآلات الزراعية. كلية الزراعة - جامعة عين شمس.
- منير عزيز مرقص، سامى محمد يونس 1991، أساسيات الميكنة الزراعية، المكتب الدولى القاهرة.
- ويليام هـ ز كرواس "ميكانيكا السيارات"ترجمة أحمد عباس الشربينى — مجموعة الكتب المدرسية والمراجع الأمريكية المترجمة — وزارة التربية والتعليم.
- مواقع على شبكة المعلومات الدولية للإنترنت المتعلقة بالمحركات.

- ASTM. 1972. Single-Cylinder engine tests for evaluating the performance of crankcase lubricants (abridged procedure). ASTM special publication 509. Philadelphia
- Civens, larry. "The Diesel Engine: Today and Tomorrw." Automotive Engineering, June 1976.
- Goering. C.E 1989. Engine and tracror Power. St. 'Joseph, MI: ASAE
- Ian Chisholm, "Automobile Engine and Vehicle Tehnology" McGraw-HILL Book Company (UK) Limited, 1984.
- Johan B. Heywood. Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw – Hill Book Company
- Lichty, L.C. 1976. Combustion engine processes. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Moyer, J.A., J. P. Calderwood, and A.A. Potter. Elements of Engineering Thermodynamics, 6th ed. John Wiley & Sons,New York, 941
- Obert, E,F. 1973. Internal Combustion Engines and Air Pollution New York: Haraper & Row.
- Taylor, C.F. The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice, 2nded. Johan Wiely & Sons New York, 1966.
- William H. Crouse, "Automotive Mechanics", McGraw-Hill Book Company (New York) Limited, 1956.

المحتويات



رقم الأيداع القانونى
2006/ 23430
الترقيم الدولى
I.S.B.N 977-393- 007- 7

مكتبة بستان المعرفة
طباعة ونشر وتوزيع الكتب
كفر الدوار - 86 ش الحدائق - بجوار نقابة التطبيقيين
☎ : 0121151237&045/2211495 & 045/2224228

هذا الكتاب

ضمن سلسلة محرك الاحتراق الداخلى والتى صدر منها

1- الجزء الأول محرك الاحتراق الداخلى
(أنواعه – مكوناته – نظريات تشغيله)

2- محرك الاحتراق الداخلى
(الأجهزة المساعدة للمحرك)

3- محرك الاحتراق الداخلى
(أعمال الصيانة والإصلاح)

4- محرك الاحتراق الداخلى
(طرق قياس الأداء واختبار المحرك)